



Facultat de Nàutica de Barcelona, Universitat
Politécnica de Catalunya



Sistemes estabilitzadors d'embarcacions tant de petita com de gran eslora

Projecte Final de Carrera: Enginyeria Tècnica Naval especialitat en
propulsors i serveis del vaixell

Maria del Mar Pagador Mateu

Directora: Marcel·la Castells Sanabra

Data d'entrega: Maig 2012

Objectiu i agraïments

Aquest treball té com a objectiu presentar un estudi sobre els sistemes estabilitzadors, intentant reflectir la història, el present i el futur d'aquests sistemes instal·lats als vaixells.

Per conseqüència, la meva intenció sobre aquest treball seria la d'obtenir un coneixement i avaluar la importància d'aquestes sistemes, ja que la estabilitat d'un vaixell és molt important tant a nivell de transport de mercaderies com de passatgers i en embarcacions d'esbarjo per a la comoditat del navegant. Un altre aspecte important seria el de poder aplicar els coneixements assolits durant la carrera en aquest treball, per tal de poder relacionar continguts teòrics amb la realitat.

Per últim m'agradaria agrair a totes aquelles persones que han fet possible la realització d'aquest treball i que m'han estat ajudant al llarg de la carrera:

En especial a la meva tutora del projecte Marcel·la Castells pel seu seguiment, les seves correccions, suggeriments i sobretot pel seu recolzament.

Al professor Ricardo Abad, Enginyer Naval i Mestre del Laboratori ETSIN, per la seva ajuda en la orientació sobre tancs passius.

Als meus pares, per recolzar-me en fer aquesta carrera i en seguir endavant.

Continguts	pàg.
Llistat de taules i figures.	vi
Llistat d'abreviatures.	x
CAPÍTOL 1: Introducció.	1
CAPÍTOL 2: Història dels sistemes estabilitzadors.	4
CAPÍTOL 3: Sistemes estabilitzadors:	15
1. Sistemes passius:	16
1.1. Quilles de balanç.	16
1.1.1. Descripció general.	16
1.1.2. Principis de funcionament.	19
1.1.3. Avantatges i inconvenients.	20
1.1.4. Aplicacions.	21
1.1.5. Quilles dobles.	22
1.1.5.1. Descripció general.	22
1.1.5.2. Avantatges.	23
1.1.6. Conclusions del sistema.	24
1.2. Tancs passius d'estabilització.	25
1.2.1. Descripció general.	25
1.2.2. Característiques.	28
1.2.3. Tipus.	29
1.2.3.1. Tancs estabilitzadors de superfície lliure (Flume).	30
1.2.3.1.1. Descripció general.	30
1.2.3.1.2. Principis de funcionament.	30
1.2.3.1.3. Aplicacions.	34
1.2.3.2. Tancs en forma de "U".	35
1.2.3.2.1. Descripció general.	35
1.2.3.3. Tancs Frahm.	36
1.2.3.3.1. Descripció general.	36

1.2.3.4.	Tancs passius controlables.	37
1.2.3.4.1.	Descripció general.	37
1.2.3.4.2.	Principis de funcionament.	37
1.2.3.4.3.	Aplicacions.	39
1.2.4.	Conclusions del sistema.	40
2.	Sistemes actius:	41
2.1.	Aletes estabilitzadores.	41
2.1.1.	Descripció general.	41
2.1.2.	Principis de funcionament.	42
2.1.3.	Tipus.	45
2.1.3.1.	Aletes retràctils.	45
2.1.3.1.1.	Aletes retràctils d'àrea petita.	45
2.1.3.1.2.	Aletes retràctils d'àrea gran.	48
2.1.3.2.	Aletes fixes.	50
2.1.3.2.1.	Aletes fixes d'àrea petita.	50
2.1.3.2.2.	Aletes fixes d'àrea gran.	51
2.1.4.	Elements del sistema d'aletes.	53
2.1.5.	Aletes en motors foraborda.	53
2.1.6.	Conclusions del sistema	54
2.2.	Tancs actius.	56
2.2.1.	Descripció general.	56
2.2.2.	Principis de funcionament.	56
2.2.3.	Tipus.	57
2.2.4.	Característiques, avantatges i inconvenients.	58
2.2.5.	Aplicacions.	59
2.2.6.	Tancs amb sistema antiescora interring.	60
2.2.6.1.	Descripció general.	60
2.2.6.2.	Aplicacions i avantatges.	61
2.2.7.	Conclusions del sistema.	62
2.3.	Sistemes de pesos actius.	64
2.3.1.	Descripció general.	64

2.3.2.	Conclusions del sistema.	65
2.4.	Giroscopi estabilitzador.	66
2.4.1.	Descripció general.	66
2.4.2.	Principis de funcionament.	66
2.4.3.	Característiques.	68
2.4.4.	Aplicacions i beneficis.	71
2.4.5.	Conclusions del sistema.	77
3.	Combinació de sistemes estabilitzadors.	78
CAPÍTOL 4: Altres sistemes estabilitzadors.		79
1.	Estabilitzador Voith-Schneider.	79
1.1.	Descripció general.	79
1.2.	Avantatges.	80
1.3.	Aplicacions.	80
2.	Estabilització mitjançant el timó.	81
2.1.	Descripció general.	81
2.2.	Avantatges i inconvenients.	82
2.3.	Tipus de timons.	83
CAPÍTOL 5: Impacte mediambiental dels sistemes estabilitzadors.		84
Conclusions.		87
Bibliografia.		90

Llistat de taules i figures

<u>CAPÍTOL 1</u>	pàg.
Figura 1.1.- <i>Esquema dels moviments del vaixell.</i>	2
 <u>CAPÍTOL 2</u>	
Figura 2.1.- <i>Fotografia d'un vaixell drakkar.</i>	4
Figura 2.2.- <i>Maqueta d'un vaixell drakkar amb vela.</i>	5
Figura 2.3.- <i>Gravat d'una embarcació funerària egípcia.</i>	5
Figura 2.4.- <i>Fotografia de William Froude.</i>	6
Figura 2.5.- <i>Fotografia de Henry Bessemer.</i>	7
Figura 2.6.- <i>Vaixell que va dissenyar Henry Bessemer, aquesta és una part en la que es basa el principi del giroscopi.</i>	7
Figura 2.7.- <i>Gravat del vaixell Livadia.</i>	8
Figura 2.8.- <i>Maqueta del iot Livadia.</i>	9
Figura 2.9.- <i>Fotografia del Livadia abans del llançament al mar.</i>	9
Figura 2.10.- <i>Fotografia del vaixell Ypiranga en un dels seus viatges.</i>	11
 Taula 2.1.- <i>Cronologia de la creació dels sistemes estabilitzadors.</i>	 13
 <u>CAPÍTOL 3</u>	
Figura 3.1.- <i>Classificació dels sistemes estabilitzadors.</i>	15
Figura 3.2.- <i>(a) Fotografia d'una quilla de balanç al pantoc d'estribord (b) Embarcació patrullera que porta les quilles de balanç de la fotografia de l'esquerra.</i>	16
Figura 3.3.- <i>Esquema de la posició i parts importants de les quilles de balanç.</i>	17
Figura 3.4.- <i>Gràfiques en les que es pot veure la diferència entre portar quilles de balanç o no portar-ne.</i>	18
Figura 3.5.- <i>Esquema en el que es pot veure els efectes que produeixen les quilles de balanç a l'aigua i com afecta el radi a la reducció de balanceig.</i>	19

Figura 3.6.- (a) Vaixells tonyinaire (EDU), (b) Submarí de 1934. En els dos casos porten quilles de balanç com a sistema antibalanceig. També poden portar altres sistemes, com ara tancs o aletes estabilitzadores.	21
Figura 3.7.- Embarcació a vela recolzada sobre les quilles dobles quan ha baixat la marea.	23
Figura 3.8.- Comparació de la resposta calculada de l'amplitud del balanceig en un vaixell amb i sense un bon tanc passiu d'estabilització.	26
Figura 3.9.- Esquema dels tipus principals de tancs passius.	26
Figura 3.10.- (a) Model de tanc passiu sense diafragmes, (b) Model de tanc passiu amb diafragmes.	27
Figura 3.11.- Tipus de tancs passius amb modificacions.	29
Figura 3.12.- Diferents esquemes de la forma que pot tenir un tanc Flume.	30
Figura 3.13.- Simulació del moviment en un estat ideal del fluid dintre del tanc passiu en relació al moviment del vaixell.	32
Figura 3.14.- Model de tanc per a demostrar el fenomen d'sloshing.	33
Figura 3.15.- (a) Vaixell cabler (North Ocean 102), que porta incorporat un sistema de tancs passius estabilitzadors Flume, (b) Vaixell pesquer que porta instal·lat un sistema de tancs passius estabilitzadors de superfície lliure (Artza).	34
Figura 3.16.- Esquema dels diferents tipus de tanc en "U".	35
Figura 3.17.- Esquema d'un tanc passiu extern o tanc Frahm.	36
Figura 3.18.- Esquema d'un tanc passiu controlable.	37
Figura 3.19.- Taula comparativa entre un tanc passiu i un tanc passiu controlable.	38
Figura 3.20.- (a) Vaixell perforador (Discoverer Enterprise), (b) vaixell oceanogràfic (Miguel Oliver).	39
Figura 3.21.- Diagrama on es pot veure que quan les aletes estan activades l'angle de balanceig es redueix considerablement.	41
Figura 3.22.- Seqüència en la que es pot veure el flux de l'aigua a mesura que hi ha un avançament del vaixell. En la part superior de l'aleta l'aigua té major velocitat i per tant, hi ha una depressió que crea la sustentació.	43
Figura 3.23.- Aquí es mostra un esquema de la diferència de pressions que es creen a les superfícies de l'aleta i la força que es genera.	44

Figura 3.24.- (a) Fotografia d'un ala a un túnel de vent, es pot veure la capa d'aire a la zona de l'extradós com s'ha després completament i ja no es produeix la sustentació, està en angle de pèrdua. (b) Esquema de la fotografia on clarament es pot veure que una vegada s'ha després la capa hi ha una zona de turbulències i el flux no és uniforme. 44

Figura 3.25.- (a) Esquema en 3D d'unes aletes estabilitzadores retràctils d'àrea petita, que es poden utilitzar tant en repòs com en navegació (b) lot que porta aquestes aletes, de 50 metres d'eslora, el iot és de Monaco Yachting & Technologies. 46

Figura 3.26.- Esquema en 3D d'unes aletes estabilitzadores de gran àrea. 48

Figura 3.27.- (a) Fotografia d'una aleta d'àrea gran retractada dintre del buc, aquesta aleta pertany al vaixell hospital "Esperanza del mar" que es pot veure en la fotografia (b) al port de Las Palmas. 49

Figura 3.28.- (a) Fotografia d'una aleta retràctil d'àrea gran en reparació, aquesta aleta pertany a un creuer. (b) Creuer Crystal Harmony, que porta les aletes de la fotografia (a). 50

Figura 3.29.- (a) Esquema en 3D de les aletes d'àrea entre 1'4 i 3'2 metres quadrats. (b) lot de gran eslora que porta aquestes aletes estabilitzadores. 51

Figura 3.30.- (a) Esquema en 3D de l'aleta d'àrea entre 0'85 i 16'5 metres quadrats. (b) Fotografia d'una fragata que porta aquestes aletes estabilitzadores. 52

Figura 3.31.- (a) Aletes estabilitzadores LALIZAS, (b) aletes estabilitzadores ATTWOOD, (c) aleta estabilitzadora SE Sport. 54

Figura 3.32.- Esquema d'un tanc actiu amb sensors, unitat del processador i vàlvula pneumàtica. 56

Figura 3.33.- Simulació del moviment del fluid del tanc actiu respecte al moviment del vaixell. 57

Figura 3.34.- Tipus de tancs actius. 58

Figura 3.35.- Fotografies de vaixells que porten tancs actius com a sistema estabilitzadors, la fotografia (a) vaixell portacontenidors (Emma Maersk), la fotografia (b) vaixell Ro Ro (José Maria Entrecanales). 60

Figura 3.36.- Tanc amb sistema antiescora intering. 60

- Figura 3.37.- Grup de vàlvules del bufador d'aire, que formen part del sistema antiescora. 61
- Figura 3.38.- (a) Vaixell trenca gel (Tajmiroh), (b) Vaixell de càrrega pesada (Blue-Marlin). 62
- Figura 3.-39 Explicació de la precessió amb una roda de bicicleta. 67
- Figura 3.-40 Esquema de l'explicació de la precessió amb un giroscopi dintre del vaixell. 67
- Figura 3.41.- (a) És un Azimut 70 que porta instal·lat un sistema de giroscopi estabilitzador, (b) giroscopi estabilitzador en procés d'instal·lació al vaixell. 72
- Figura 3.42.- (a) És un Viking 70 que porta instal·lada un sistema de giroscopi estabilitzador, (b) model M21000 ja instal·lat en un Viking 70. 73
- Figura 3.43.- (a) És un Island Pilot 535, el primer vaixell d'exploració en instal·lar un giroscopi estabilitzador, (b) fotografia d'una unitat de giroscopi estabilitzador. 74
- Figura 3.44.- (a) És un vaixell que transporta equip ràpidament, vaixells com aquest porten instal·lats giroscopis, (b) fotografia de dos giroscopis estabilitzadors, que possiblement s'instal·lin en un vaixell comercial. 75
- Figura 3.45.- (a) És un Torpedo Weapons Retriever que incorpora un sistema de giroscopi amb el model M21000, (b) sistema de giroscopis estabilitzadors que incorpora 3 unitats (aquesta fotografia no correspon al vaixell de la figura de l'esquerra). 76

Taula 3.1.- Taula amb els models de Seakeeper i les característiques de cadascun d'ells. 70

Taula 3.2.- Taula amb els models de Mitsubishi ARG i les característiques de cadascun d'ells. 71

CAPÍTOL 4

- Figura 4.1.- Estabilitzador Voith-Schneider. 79
- Figura 4.2.- Vaixell de guerra que porta un Voith-Schneider, (b) Vaixell grua que porta un sistema estabilitzador Voith-schneider. 81
- Figura 4.3.- Gràfica on es mostra el tipus de timó que és més efectiu segons el perfil. 83

CAPÍTOL 5

Figura 5.1.- *Portada del llibre de Reglaments del MARPOL.*

84

Llistat d'abreviatures

SAR – Stabilization At Rest

NACA – National Advisory Committee on Aeronautics

MARIN – Maritime Research Institute

EPA – Agència de Protecció d'Emissions

SNAME – Society of Naval Architects and Marine Engineers

GM – Altura Metacèntrica

SPH – Smoothed Particle Hydrodynamics

WMO – World Meteorological Organism

OMI – Organització Marítima Internacional

CAPÍTOL 1: Introducció

Tradicionalment s'ha treballat per a millorar la comoditat als iots, la seguretat de la càrrega en vaixells mercants, quan els vaixells estan en navegació, és a dir, en moviment. El disseny de l'obra viva és el primer factor a tenir en compte, però encara no hi ha cap disseny de buc que pugui assimilar les diferents condicions de càrrega, vent, estat de la mar o velocitat, per tant, s'han utilitzat de forma tradicional els estabilitzadors.

Aquest treball tracta sobre els sistemes estabilitzadors que poden portar els vaixells, tant de petita com de gran eslora. Cadascun d'aquests en portarà un o altre en funció de les necessitats o de la seva funció. També poden portar una combinació de diferents sistemes estabilitzadors.

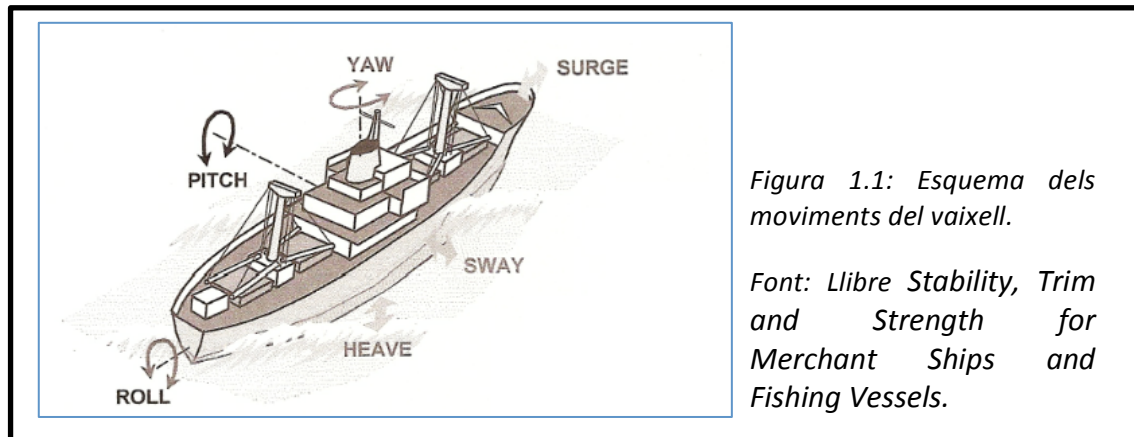
Els vaixells han de portar sistemes estabilitzadors degut principalment al balanceig que es produeix al vaixell degut a forces externes, com ara el vent, l'estat de la mar, normalment agents atmosfèrics, que fan que el vaixell es balancegi d'un costat a un altre. Això pot produir una sèrie de problemes: en vaixells mercants es poden fer malbé les mercaderies, es poden perdre contenidors. En vaixells petits d'esbarjo o vaixells de gran eslora, però de passatgers, es pot marejar el passatger o la persona que vulgui gaudir del mar.

Els sistemes estabilitzadors són un tema interessant perquè fa molts anys que s'estudien nous mètodes de sistemes estabilitzadors, però encara no hi ha hagut cap que superi el que ja està inventat i funcionant. En aquest projecte s'analitzaran i es descriuran cadascun d'ells, tant els tipus que hi ha, com la seva ubicació en els diferents vaixells i la seva funció.

Però abans de començar a veure un per un els sistemes estabilitzadors, haurem de saber què és el balanceig i com es produeix per poder dir quin dels estabilitzadors és el més adient en cada cas.

Què és el balanceig?

Un vaixell té sis graus de llibertat de moviment; tres que són lineals (*surge*, *sway* i *heave*) i tres que són rotacionals (*roll*, *pitch* i *yaw*) [2].



Surge: Moviment lineal que fa que el vaixell es mogui de proa a popa o viceversa.

Sway: Moviment lineal que fa que el vaixell es mogui de babord a estribord o viceversa.

Heave: Moviment lineal que fa que el vaixell es mogui verticalment cap amunt i cap avall.

Roll (Balanceig): Moviment que fa que el vaixell es mogui de manera rotacional sobre el seu eix longitudinal de babord a estribord o viceversa.

Pitch (Capcineig): Moviment que fa que el vaixell es mogui de manera rotacional sobre el seu eix transversal de proa a popa o viceversa.

Yaw (Guinyada): Moviment que fa que el vaixell es mogui de manera rotacional donant voltes al voltant de l'eix central vertical del vaixell.

Com es produeix?

El balanceig és un moviment dinàmic i de restauració, que pot conduir a moviments transversals rotatoris excessius quan un vaixell es troba amb períodes d'ona propers al seu període natural de balanç [2].

Ara que ja tenim les nocions bàsiques podem començar amb l'estudi que ens pertoca.

CAPÍTOL 2: Història dels sistemes estabilitzadors

Al llarg de la història un factor molt important que s'ha tingut en compte tant per la comoditat dels passatgers en vaixells petits o en vaixells de passatge, com per la seguretat de la càrrega ha estat el balanceig dels vaixells.

Des del principi del temps s'ha buscat l'estabilitat dels vaixells.

Unes de les embarcacions més estables daten del període comprès entre els anys 700 i 1000. Es deien **drakkar** i van ser utilitzades pels escandinaus, saxons i els víkings durant les guerres que mantenien amb altres pobles, tant a l'interior com a les zones costeres. A noruega encara alguns vaixells se segueixen construint amb les mateixes tècniques.

Els drakkars eren embarcacions llargues, estretes, de poc pes i amb poc calat, amb remes en quasi tota la longitud del buc. Aquestes embarcacions eren extraordinàriament estretes en relació a la seva longitud, sobretot si es compara amb els estàndards actuals. El que té una major relació eslora/mànega es de 11'4 a 1, en canvi, embarcacions més recents són optimitzades per a la navegació, tenen ratis més baixos de 1 a 7 o de 1 a 5.



Figura 2.1: Fotografia d'un vaixell drakkar.

Aquest vaixell es va construir al 820 i durant molts anys es va utilitzar per a la seva funció. Quan es va trobar al 1903 en una granja es va veure que també s'havia utilitzat com a vaixell funerari. Fa 22 metres d'eslora i 5 metres de màniga.

Font: Museu de vaixells víkings de Oslo (Noruega).

Altres versions posteriors incloïen un únic màstil amb una **vela rectangular** que facilitava el treball als remers, especialment durant les llargues travessies. Quasi tots els drakkars eren construïts sense utilitzar quadernes, superposant planxes de fusta; per a tapar les juntes d'unió entre les planxes s'utilitzava molsa impregnada de brea. El reduït pes i el seu poc calat feien possible que naveguessin per aigües poc profundes de només un metre de profunditat, això feia possible també un ràpid desembarcament i inclús es podia transportar l'embarcació per terra.



Figura 2.2: Maqueta d'un vaixell drakkar amb vela.

Font: Google Images.

Al seu origen aquestes embarcacions no tenien quilla, ja que aquesta no es va imposar fins al segle VII per oferir una major estabilitat durant la navegació. També es van inventar un enginyós timó que estava fixat a estribord.

Com es pot observar aquestes embarcacions van començar a utilitzar les veles quan l'embarcació ja portava temps inventada, però l'origen de les veles es remunta als **egipcis**.



Figura 2.3: Gravat d'una embarcació funerària egípcia.

Embarcació amb la proa i la popa simètriques, amb remes i una vela quadra.

Les primeres embarcacions egípcies daten del 1420 a.C aproximadament. Els egipcis tenien diferents embarcacions segons l'ús que els volien donar, no totes les embarcacions portaven veles. Normalment utilitzaven els remos quan anaven al nord pel Nil, a favor de la corrent i utilitzaven les veles quan es dirigien al sud pel Nil, quan viatjaven a favor del vent [31].

Però el desig per evitar el moviment de balanceig es va fer més notable durant la meitat del segle XIX quan grans canvis van estar introduïts a l'àmbit del disseny de les embarcacions i el desenvolupament dels vaixells. Les veles van estar substituïdes per motors de vapor, la fusta es va substituir per ferro i aquesta combinació i altres canvis també importants van fer que es modifiqués l'estabilitat transversal.

El primer que va començar a investigar sobre l'estabilitat transversal dels vaixells va ser el científic britànic William Froude (1810-1879), que va estudiar els mecanismes que induïen el moviment de balanceig al 1860. En el treball de Froude recauen els principis fonamentals en els que es basen avui en dia els investigadors per a estudiar el balanceig. Froude va dir: *"el moviment de balanceig és la conseqüència de la pressió del fluid que actua sobre el buc, no l'impacte de les onades xocant contra els costats del vaixell"*.

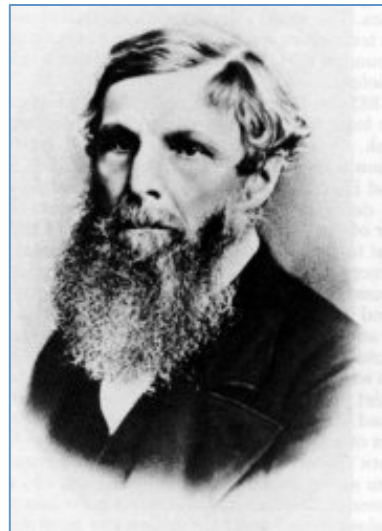


Figura 2.4: Fotografia de William Froude.

Font: Wikipèdia.

El primer intent per reduir el balanceig per Froude va ser instal·lar **quilles de balanç**. Froude també va proposar instal·lar cambres d'aigua en la part superior del vaixell al 1874, però es va adonar que provocaven un efecte de superfície lliure molt gran [4].

Henry Bessemer també tenia el desig d'evitar el mareig, i per això va inventar el vaixell antibalanceig. Henry Bessemer era més conegut com a l'inventor del procés per a la manufactura de l'acer que com a arquitecte naval [31].

El vaixell va ser construït al 1875. Era un vaixell normal en quant a buc i màquines, però el seu saló de passatgers, de 23 metres de llargària, estava muntat sobre guies metàl·liques i podia ser operat per màquines hidràuliques de manera que romangués sempre horitzontal, com suspès a l'espai, sense importar l'angle de balanceig que sofrís el vaixell pròpiament dit. Aquesta maquinària

era controlada per un enginyer i es regulava segons amb la referència d'un gran nivell de bombolla ubicat a la coberta del saló.



Figura 2.5: Fotografia de Henry Bessemer.

Font: Google Images.

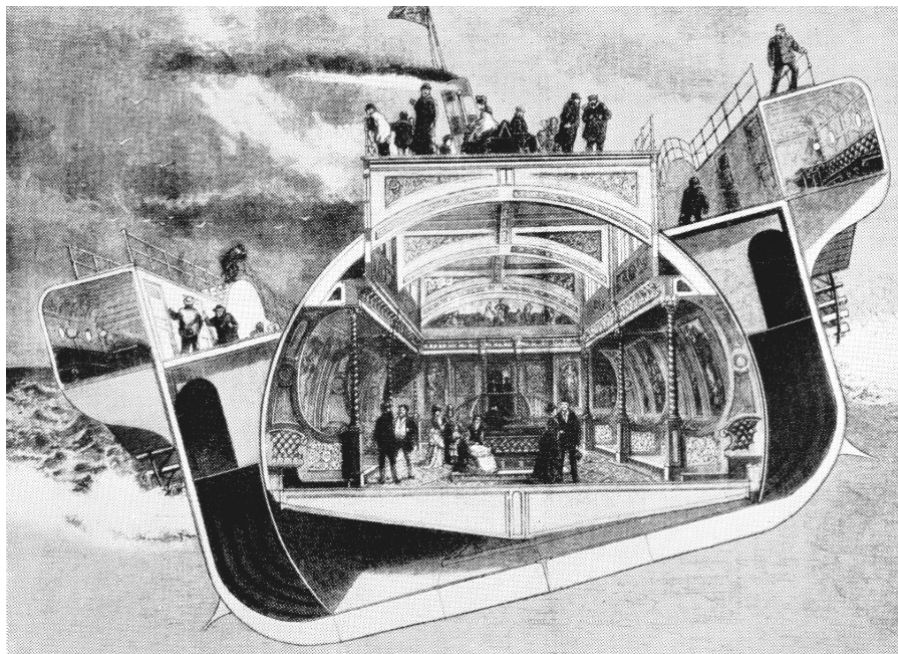


Figura 2.6: Vaixell que va dissenyar Henry Bessemer, aquesta és una part en la que es basa el principi del giroscopi.

Font: Google Images.

Dues màquines i quatre rodes de paletes asseguraven la propulsió. La idea va funcionar raonablement bé a la seva primera navegació de prova, amb la mar calmada i un balanceig molt petit i lent. A la seva segona sortida, el mar estava encrespat i l'enginyer de guàrdia va trobar que no podia, amb els moviments de la maquinària, contrarestar suficientment ràpid l'angle de balanceig i va xocar amb el moll.

Cap altre vaixell es va construir amb aquest disseny, ja que va ser impossible aconseguir una resposta suficientment ràpida de la maquinària per a sincronitzar o anticipar el moviment del buc en mar obert. Però es pot dir que la llavor de la idea de Bessemer es va arrelar amb el temps i eventualment va florir com a estabilitzadors automàtics d'avui.

Un altre cas similar va ser el Livadia, que va ser construït al 1880 a les drassanes de John Elder & Co. a Govan. Aquest era un vaixell molt estrany. Era un vaixell de vapor que va ser construït per a l'emperador Alexander II de Rússia. L'enginyer que el va dissenyar era l'almirall Popov, de la marina russa.

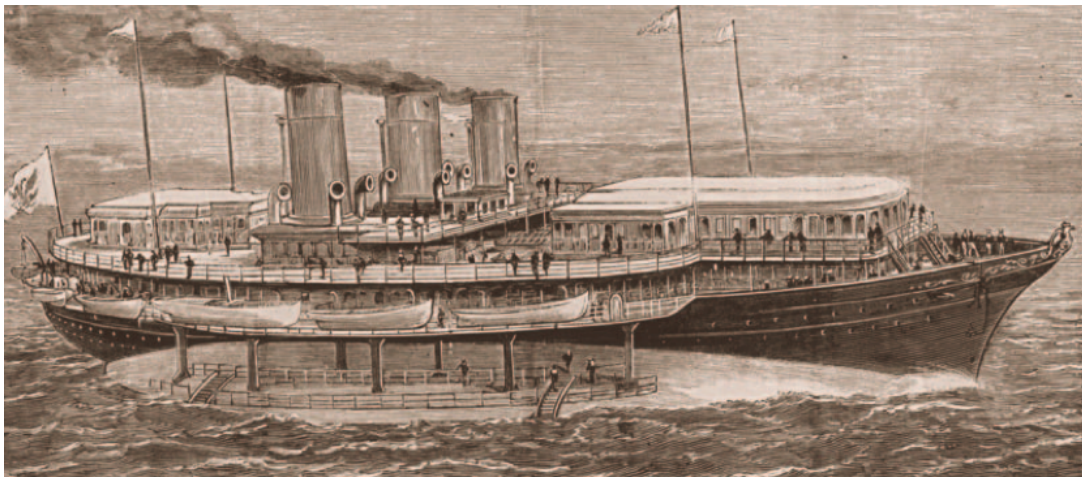


Figura 2.7: Gravat del vaixell Livadia.

Font: Article Buques extravagantes.

El buc era ample i tenia una forma ovalada, deien que tenia forma de turbot¹. Això feia que al tenir aquesta forma plana en forma de peix es satisfessin les necessitats de disseny, amb la combinació de velocitat i força amb ampli confort i estabilitat. L'emperador patia de mareig quan pujava a les embarcacions i volia un vaixell en el que no es maregés. Encara que era un projecte complicat es va poder portar a terme al cap de 8 mesos d'haver començat la seva construcció.

El Livadia feia 46'63 metres d'ample, que era més de tres cinques parts de la seva longitud que feia 31'62 metres. Pesava 7.700 tones i tenia un calat de només 1'82 metres. Portava 3 hèlix de 4'87 metres de diàmetre, capaç de generar una potència de 10.500 cavalls i una velocitat de 14 nusos per hora. Es necessitava un grup de 260 persones per a poder accionar la seva vela [34].



Figura 2.8: Maqueta del iot Livadia.

Font: Web de Taringa.



Figura 2.9: Fotografia del Livadia abans del llançament al mar.

Font: Web de Taringa.

La seva superestructura contenia l'allotjament per a la tripulació i al centre de la part posterior de la nau hi havia un ampli espai que contenia el palau marítim per a l'emperador, que s'alçava 12'20 metres sobre l'aigua.

Durant el seu viatge inaugural no es va saber res del Livadia durant dos mesos. Havia estat

sacsejat per la mar, i encara que es pensés que era molt estable la tripulació i els

¹ Turbot: Peix de forma quasi rodona, que viu al Mediterrani i a l'oceà Atlàntic. És un peix pràcticament pla de colors marronosos per poder camuflar-se amb el fons marí [31].

passatgers es van marejar molt. Després de que tothom s'hagués recuperat el Livadia va continuar el seu viatge cap a Sebastopol, al Mar negre. Durant el viatge pel Mar Mediterrani no va ser molt més tranquil i també es van marejar.

Finalment tot va acabar en tragèdia quan al 1881 van assassinar a l'emperador tot just quan havia d'anar a veure el seu vaixell. El Livadia va ser despulrat de tots els accessoris luxosos i els motors van ser retirats per a reutilitzar-los en altres vaixells de càrrega i es va continuar utilitzant com una barca de carbó pel Mar Negre. Fins que al 1927 es va trencar com a ferralla [34].

A l'any 1915 la companyia americana Sperry² va desenvolupar un sistema que corregia el problema del **giroscopi** d'Schlick (1906), utilitzant un motor elèctric controlat amb interruptors i un giroscopi petit per controlar la precessió del giroscopi principal. La velocitat de precessió era proporcional al balanceig del vaixell. Encara que el rendiment d'aquest sistema era important, es podia obtenir quasi un 95% de reducció del balanceig, però degut al seu elevat cost, a l'increment del pes i a les grans tensions que es produïen al buc feien que s'emmascaressin els seus beneficis i feia que es necessitessin millores.

Tot el treball mencionat amb anterioritat va estar seguit del desenvolupament dels **tancs en forma de U de Frahm** al 1911. Aquest tipus de tancs eren més efectius que els **tancs de superfície lliure** creats per Froude i Watt (1880). El primer vaixell que va incorporar aquests tipus de tancs va ser el Ypiranga (Figura 2.10), un vaixell de càrrega i de passatgers, que va recórrer una distància entre Hamburg, Mèxic i Buenos Aires. Aquest tipus de tanc encara se segueix utilitzant en bastants vaixells.

² Sperry marine (www.sperrymarine.northropgrumman.com) és una empresa que té productes per als vaixells, com ara radars, giroscopis, entre d'altres productes.

El treball d'investigació de **tancs actius** va començar al voltant de 1930. Per exemple, Minorski va utilitzar bombes d'aigua per alterar el flux al 1934. La velocitat del fluid variava segons l'acceleració del balanceig. Durant els anys 60 i els 70 va haver-hi una important investigació per entendre millor el rendiment d'aquests estabilitzadors.



Figura 2.10: Fotografia del vaixell Ypiranga en un dels seus viatges.

Font: Fotografia extreta del Google Images.

Les primeres incorporacions d'**aletes estabilitzadores** es va començar a fer després de la Segona Guerra Mundial. Això va ser una conseqüència de la combinació del treball de Denny i els Brown Brothers a Anglaterra. Però la idea d'utilitzar-les es va desenvolupar abans de la guerra. Les primeres propostes de les aletes van ser de les drassanes de Mitsubishi Nagasaki³ al Japó al 1923. Aquest sistema va ser patentat per Motora als Estats Units al 1925. Al 1930, aquest sistema ja estava instal·lat amb èxit en tres vaixells diferents: un vaixell de passatgers, un vaixell de vapor i a un vaixell d'arrossegament. Les aletes estaven controlades per maquinàries estàndards de direcció, que estaven activades per un sistema de giroscopi. L'angle màxim que podien girar les aletes era de la meitat d'un segon. Normalment, s'arribava a l'angle màxim molt ràpid perquè encara no s'havien fet assajos perquè es gressin gradualment les aletes.

³ Es pot trobar informació sobre les drassanes de Mitsubishi Nagasaki al llibre *Technology and Industrial Development in Pre-War*. És un llibre que estudia l'evolució tecnològica i industrial de la època de pre-guerra (1884-1934).

El procés d'investigació de Conolly a l'any 1969 va proporcionar un mètode per establir el nombre d'aletes que es necessitaven per a garantir l'estabilització davant de certs angles de balanceig. Durant els anys 70 Lloyd, Carley i Deberley van contribuir a l'estudi del rendiment de les aletes per a un millor disseny.

La idea d'utilitzar el **timó** com un sistema d'estabilització va emergir de les observacions del comportament del balanceig dels vaixells sota operacions controlades automàticament. Taggart es va adonar d'una combinació de circumstàncies que ocorrien al portacontenidors "American Resolute" durant una travessia a l'atlàntic al 1967, que feia que hi hagués un excés de balanceig al vaixell quan la maquinària automàtica de direcció s'estava utilitzant. De les dades obtingudes durant aquella travessia es va construir un model que es va començar al 1968, i deia que el màxim balanceig que s'observava encara que no hi hagués mala mar, era la conseqüència dels valors alts de freqüència de guinyada, que feia que el control automàtic del vaixell produís activitat al timó prop de la freqüència natural de balanceig del vaixell. El fet era que el controlador automàtic del vaixell s'utilitzés com a sistema estabilitzador del vaixell.

A l'any 1972 es va utilitzar al iot "M.S. Peggy", aquesta va ser la primera vegada que es provava en un vaixell a escala real. Al 1973 es va presentar oficialment al *Symposium on development of Interest to Yacht Architecture* a Amsterdam i també es va presentar a l'*International Ship Building Progress Journal* al 1974. Durant aquests dies es va reduir el balanceig un 43%.

Independentment dels estudis anteriorment mencionats, Cowley i Lambert van presentar l'estudi de l'estabilització mitjançant timó utilitzant simulacions analògiques per ordinador i utilitzant un model d'un vaixell portacontenidors al 1972. Aquest treball, obtingut per a vaixells comercials, va motivar l'exploració d'utilitzar el timó com a sistema estabilitzador en l'ambient naval a Anglaterra. A l'any 1975 Carley i Lloyd van ensenyar els seus estudis en els que no només s'estudiava els beneficis, sinó també les complicacions associades amb el control dels timons com a sistema estabilitzador. Aquest estudi sembla ser un dels més rigorosos.

Va ser quasi als anys 80 que van començar a aparèixer controls algorítmics més avançats i els ordinadors digitals van fer que l'èxit experimental fos possible [4].

En la taula següent es mostren els diferents sistemes estabilitzadors, endreçats cronològicament per ordre de creació. També es pot veure en quins vaixells es van utilitzar, el seu dissenyador i el tipus de sistemes que són.

ANY	SISTEMA	VAIXELL	DISSENYADOR	TIPUS
1870	Quilles de balanç	-	Froude (GBr)	Passiu
1880	Tancs	Inflexible	Watt i Froude (GBr)	Passiu
1891	Pesos	Cecile	Thornycroft (GBr)	Actiu
1906	Giroscopi	Sea-Bar	Schlick (Ger)	Passiu
1909	Pesos	Steamer	Crémeieu (Fra)	Passiu
1910	Tancs	Ypiranga	Frahm (Ger)	Passiu
1915	Giroscopi	Conte di Savoia	Sperry company (USA)	Actiu
1924	Giroscopi	Destroyer	Fieux (Fra)	Passiu
1924	Aletes	Matsu Maru	Motora (Jap)	Actiu
1933	Aletes	Aviso Estourdi	Kefeli (Ita)	Actiu
1936	Aletes	HMS Bittern	Denny-Brown (GBr)	Actiu
1939	Tancs	Hamilton	Minorski (USA)	Actiu
1972	Timó	M.S. Peggy	Van Gunsteren (Ndl)	Actiu
1974	Timó	Manchester Concorde	Cowley i Lambert (GBr)	Actiu

Taula 2.1: Cronologia de la creació dels sistemes estabilitzadors.

Font: Llibre Ship motion control: Course keeping and roll stabilisation using rudder and fins.

En aquest apartat s'ha presentat un breu resum dels desenvolupaments més importants dels conceptes d'estabilització. Amb això es pot demostrar la fiabilitat dels sistemes estabilitzadors d'aquest últims cent anys. En quant al rendiment es refereix encara es pot investigar més per poder augmentar-lo. Això pot ser degut a les deficiències del sistema de control dels estabilitzadors i la manca de coneixement de la dinàmica dels sistemes i a la limitació en quant a tecnologia que hi havia en aquella

època. Podem dir que aquestes són algunes de les raons per les quals fins ara no s'han incorporat sistemes nous d'estabilització i en canvi s'està estudiant la millora dels sistemes que ja existeixen actualment.

CAPÍTOL 3: Sistemes estabilitzadors

El vaixell es veu afectat, tant en la navegació com estant parat, per diferents agents atmosfèrics, com ara el vent i les onades, el vaixell té una resposta a aquests factors en forma de canvi de rumb o en forma de balanceig o de capcineig.

El balanceig suposa un alt grau d'incomoditat per als passatgers i per a la tripulació, i un perill per al buc si la càrrega té desperfectes a causa del moviment dins del vaixell.

Aquesta resposta davant del moviment es pot veure corregida, per una part gràcies al control del sistema de govern del vaixell, en el que respecta al rumb i la guinyada, per una altra banda pels diferents sistemes estabilitzadors en el que respecta al balanceig.

Hi ha diferents tipus de sistemes estabilitzadors, els més habituals són els sistemes passius i els sistemes actius, però dins d'aquesta classificació en podem fer una altra entre sistemes externs i sistemes interns, que correspondrà a si els sistemes estan dintre del buc o fora.

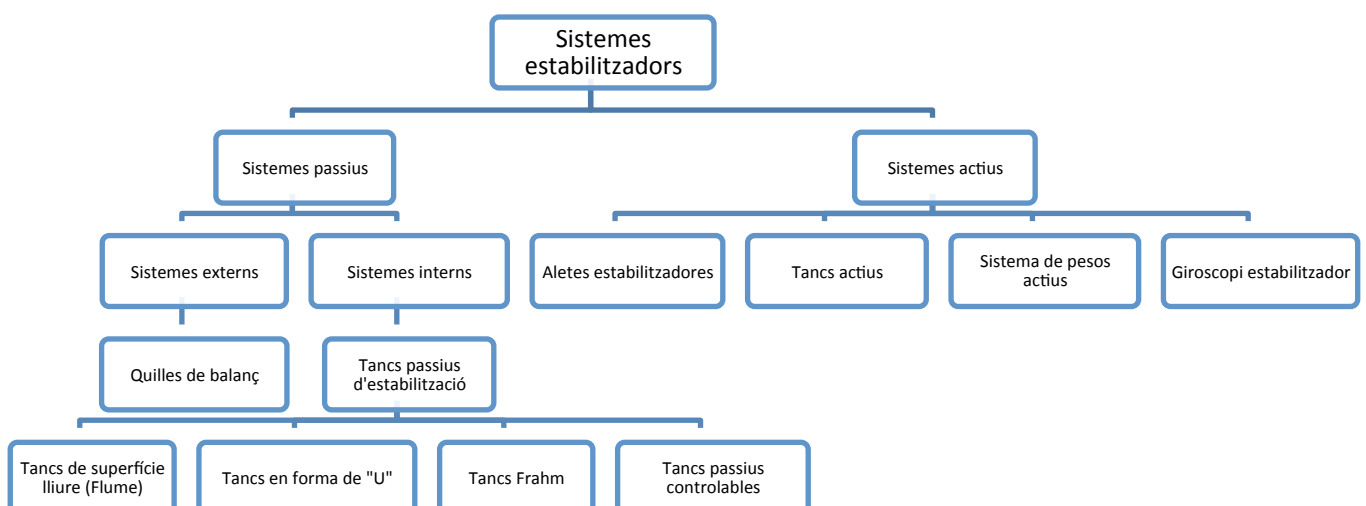


Figura 3.1: Classificació dels sistemes estabilitzadors.

Font: elaboració pròpia

1. Sistemes passius

La principal característica dels sistemes estabilitzadors passius es que no necessiten una font d'energia addicional ni sistemes de control especials. Utilitzen el seu propi moviment o pròpia constitució per crear moment d'oposició i amortitzar el moviment.

Existeixen sistemes externs i interns. En aquest apartat s'inclouen les quilles de balanç i els tancs sense sistemes positius per a transferir l'aigua d'un costat a un altre quan el vaixell es balancegi, els tancs passius d'estabilització.

1.1. Quilles de balanç

1.1.1. Descripció general.

Les quilles de balanç són sistemes passius, ja que no depenen d'un mecanisme per a detectar el moviment de balanceig, són sistemes externs perquè estan situats a la part exterior del buc. Són el mecanisme passiu més comú i més simple per atenuar el balanç, a part de ser de fàcil col·locació. Les quilles de balanç haurien de ser dimensionades i col·locades en els bucs per a donar l'efecte òptim a la vegada que donen la menor resistència viscosa al vaixell.

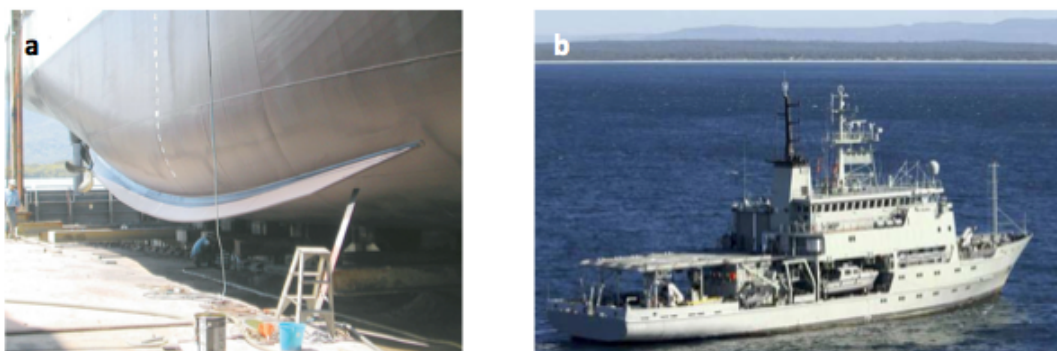
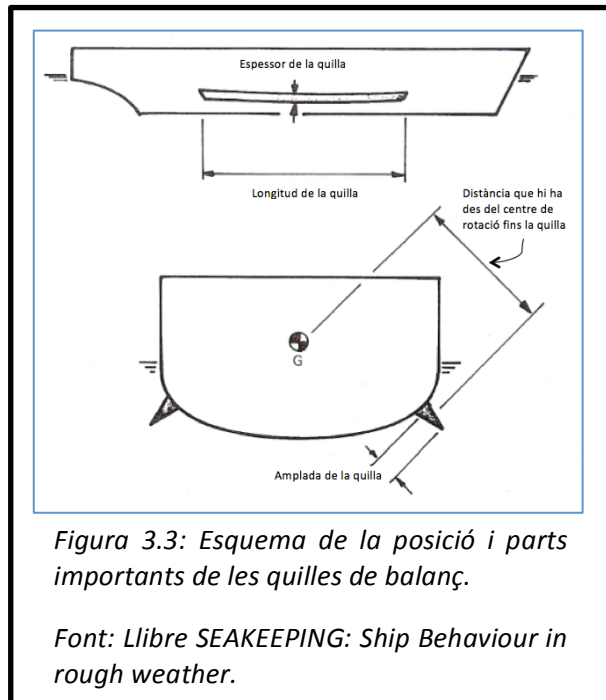


Figura 3.2: (a) Fotografia d'una quilla de balanç al pantoc d'estribord (b) Embarcació patrullera que porta les quilles de balanç de la fotografia de l'esquerra (Melville A246).

Font: Fotografies extretes de Google Images.

Van situades al llarg de la eslora a la part central del buc i a la zona on es produeix el gir o la curvatura del pantoc, per no incrementar el calat. S'estenen, per norma general al llarg de la meitat de la eslora del buc i la longitud habitual es de 1/3 a 2/3 de la eslora. Són de secció transversal en forma de falca o senzillament són de planxa laminada [7].



Les quilles de balanç tenen forma de “V”, i normalment estan soldades al llarg de l’eslora del vaixell. Es parla de quilles de balanç en plural perquè normalment se’n col·loquen dues, una a cada banda del vaixell, però en alguns casos se’n poden col·locar més, però això és en ocasions especials.

Degut a la presència d’aquests sistemes a l’obra viva es produeix una resistència afegida al moviment del vaixell, el que implicarà un augment de la potència necessària. Aquest augment de resistència es veurà compensat, al menys en part, per la reducció de l’amplitud de balanç deguda al propi mecanisme. Les amplituds de balanç poden ser reduïdes per sobre del 35% implicant, per tant, una reducció del cost.

La seva eficàcia és major quant més gran és la distància a l’eix de rotació i més gran la superfície. Però no deu sobrepassar mai la mànega ni el calat. Són més eficaços amb l’augment de velocitat, de tal forma que el buc balancejarà més quan estigui parat [3].

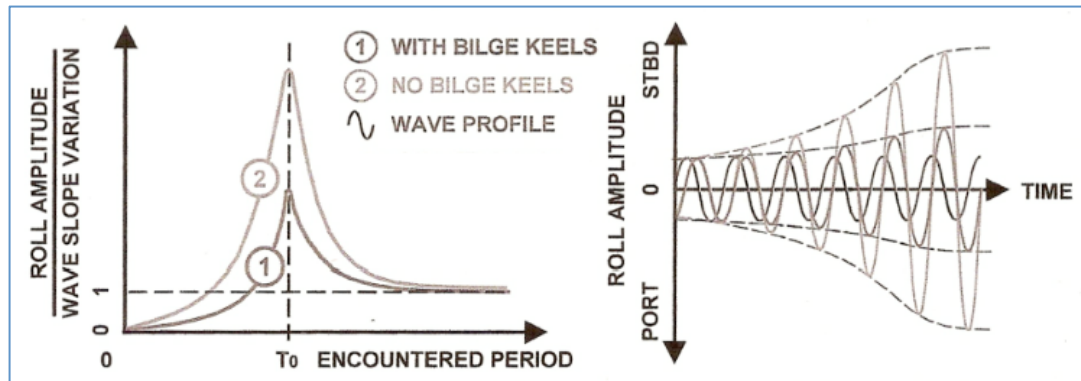


Figura 3.4: Gràfiques en les que es pot veure la diferència entre portar quilles de balanç o no portar-ne.

A la gràfica de l'esquerra es pot veure que realment quan un vaixell porta quilles de balanç hi ha una reducció del balanceig notable. En la gràfica de la dreta es pot veure les amplituds de balanceig en funció del temps i l'amplitud de les ones. Aquí també es pot veure que sense quilles de balanç l'amplitud de balanceig va augmentant amb el temps i amb quilles de balanç també, però l'amplitud és molt menor.

Font: Llibre *Stability, Trim and Strength for Merchant Ships and Fishing Vessels*.

Encara que no són tan efectives com les aletes estabilitzadores, les quilles de balanç tenen un avantatge més gran, que és que tenen un impacte menor en la disposició del vaixell. A diferència de les aletes, les quilles de balanç no tenen cap component en l'interior del buc que afectin negativament els espais de càrrega. Al igual que en les aletes, les quilles de balanç tenen l'inconvenient d'augmentar la resistència hidrodinàmica del vaixell, la qual cosa dificulta el moviment cap endavant.

Quan es dissenyen les quilles de balanç, s'han de prendre decisions importants a considerar. Per a minimitzar la resistència hidrodinàmica, les quilles de balanç han d'estar situades per sota de la línia de flotació on no s'oposi a la força de moviment del vaixell. Els extrems de la quilla han de ser cònics i ben perfilats. També, les quilles no han de sobresortir molt del buc per no tenir el perill de estavellar-se amb el moll del port o amb el fons marí [7].

En els vaixells de pesca petits es construeixen també les quilles perquè quan baixi la marea el vaixell es quedi completament vertical, és a dir, que no caigui cap a un costat, així quan torni a pujar la marea el vaixell ja està en la posició correcta per a començar a navegar i no hi haurà el risc de que s'ompli d'aigua.

1.1.2. Principis de funcionament.

Aquest és un sistema estabilitzador que se sol utilitzar en la majoria de vaixells. El seu principi de funcionament és molt simple. Es basa en la dissipació d'energia que es produeix per formació de remolins en el moviment de balanceig de les quilles longitudinals disposades en les zones del pantoc. Aquest sistema ha tingut una gran difusió gràcies a la excel·lent relació cost/eficàcia que presenta.

Les quilles de balanç incrementen l'amortiment del buc generant forces d'arrossegament que actuen perpendicularment a les quilles i s'oposen al balanceig del buc. D'aquesta manera l'energia cinètica associada al balanceig es converteix en energia cinètica del fluid per efectes viscosos.

Quan el vaixell es balanceja, les quilles de balanç recullen aigua i després la vessen darrere d'elles en turbulents remolins i per tant hi ha un lleu increment en la massa afegida però és un increment encara més important en l'amortiment a través de les turbulències i de la fricció.

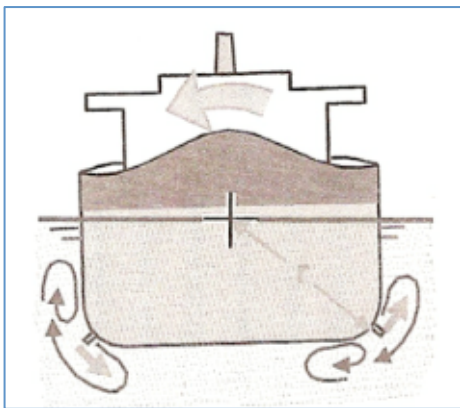


Figura 3.5: Esquema en el que es pot veure els efectes que produeixen les quilles de balanç a l'aigua i com afecta el radi a la reducció de balanceig.

Font: Llibre Stability, Trim and Strength for Merchant Ships and Fishing Vessels.

Les quilles de balanç es dissenyen per a que coincideixin amb el flux d'aigua al llarg del buc mentre que el vaixell està adriat, per tant, ofereixen poca resistència extra al moviment d'avançament del vaixell. Ofereixen un alt grau d'amortiment que és molt més gran del que la seva mida pot proporcionar, a part de ser el sistema que té una millor relació cost-efectivitat.

La fricció i l'amortiment incrementen amb la velocitat de l'aigua al voltant de les quilles de balanç, que no depèn només de la velocitat angular, sinó que també depèn del radi de la trajectòria circular en el que les quilles de balanç estan situades. Fins i tot, el lent moviment de balanceig relatiu d'un vaixell de gran eslora pot ser efectivament amortit gràcies a un valor gran del radi que consegüentment produeix una velocitat lineal a l'aigua en les quilles de balanç.

L'acció d'amortiment també augmenta aproximadament amb el quadrat de la velocitat d'avançament del vaixell, que quan es combina amb el moviment transversal de balanceig, dirigeix el flux de l'aigua des de l'extrem del davant de la quilla en un angle que genera una elevació dinàmica per oposar-se al balanceig. Això fa, però que les quilles es desalineïn del flux d'aigua, per tant, es crea una fricció addicional en el moviment d'avançament del vaixell [2].

1.1.3. Avantatges i inconvenients.

Els avantatges més importants de les quilles de balanç són les següents [7]:

- 1) Font relativament eficaç d'amortiment, especialment a baixes velocitats. El seu rendiment se situa entre un 10 i un 35% de la reducció de balanceig.
- 2) No té parts movibles, per tant, no necessita gaire manteniment, no més del que es faria al buc.
- 3) No ocupen gaire espai i no hi ha un augment significatiu en el pes mort del vaixell.
- 4) Baix cost i fàcil instal·lació.

Alguns dels inconvenients són:

- 1) Increment de la resistència del buc quan el mar està calmat (quan la reducció de balanceig no és necessària). Encara que això es pot alleujar amb una alineació exacta amb les línies del buc, l'increment de resistència en aigües calmades pot ser encara significatiu.

- 2) No tots els vaixells poder ser equipats amb quilles de balanç. Per exemple, poden ser un gran problema per a vaixells pesquers quan despleguen les xarxes, i es fan malbé en els vaixells trenca-gel.

1.1.4. Aplicacions.

Aquest sistema estabilitzador s'utilitza en la majoria de vaixells, ja siguin de gran o de petita eslora. Normalment necessiten d'un altre sistema estabilitzador per donar un major resultat a l'hora de reduir el balanceig.

Aquest són alguns dels vaixells que porten aquest sistema:

- Submarins.
- Vaixells portacontenidors.
- Vaixells pesquers.
- Vaixells d'arrossegament.



Figura 3.6: (a) Vaixells tonyinaire (EDU), (b) Submarí de 1934. En els dos casos porten quilles de balanç com a sistema antibalanceig. També poden portar altres sistemes, com ara tancs o aletes estabilitzadores.

En la fotografia de la dreta es pot veure que no només els vaixells porten quilles de balanç, sinó que els submarins també les poden portar.

Font: Imatges extretes del Google Images.

1.1.5. Quilles dobles.

1.1.5.1. Descripció general.

Les quilles dobles són aletes fixes situades al fons de la embarcació, col·locades aproximadament en la secció mitja del vaixell, a babord i a estribord. Normalment acostumen a ser més amples que les quilles de balanç normals, poden tenir perfils simètrics o perfils asimètrics (segons el cas), a més a més al seu interior es pot col·locar llast.

Generalment mesuren un 30% de la llargària de l'eslora en flotació i la seva amplada és d'entre 40 a 80 centímetre. Degut a que aquest apèndix pot incrementar fins a un 8% la resistència a l'avançament, es recomana construir-lo amb contorns fins. De les experiències realitzades tant en embarcacions a motor com a vela, s'ha observat que l'ús d'aquest tipus d'estabilitzadors millora el comportament direccional i disminueix els moviments de balanceig.

Aquest sistema se sol utilitzar tant en vaixells a motor com en vaixells de vela. Són com si fossin dues orses. En el cas dels vaixells pesquers de petita eslora permeten que el vaixell es mantingui en posició vertical a la sorra quan la marea baixa i no li calen suports per mantenir-se dret, i en cas de que la marea pugui l'embarcació es queda fondejada sense patir cap escorament.

Les quilles bessones o quilles dobles estan concebudes per fer la navegació més fàcil i segura en aigües poc profundes o en marees extremadament mogudes, preservant a la vegada l'estabilitat i el rendiment de les embarcacions de quilla profunda. No obstant això, s'ha demostrat que les quilles dobles donen un bon rendiment quan es dissenyen, però no donen tan bon rendiment com les quilles simples [33].



Figura 3.7: Embarcació a vela recolzada sobre les quilles dobles quan ha baixat la marea.

Font: Fotografia extreta de la web NauticExpo (www.nauticexpo.com).

El principi de funcionament és el mateix que en el cas de les quilles de balanç simple.

1.1.5.2. Avantatges.

A continuació es mostraran alguns dels avantatges que té aquest sistema [35]:

- 1) Major velocitat de navegació que altres iots de les mateixes dimensions. Sorprenentment, una de les raons és perquè té una part relativament petita mullada.
- 2) Les quilles dobles són més efectives amb un angle d'escora més gran, quan les quilles simples són menys efectives.
- 3) El patró d'ones es canvia per a reduir les crestes de proa i de popa. Això fa que s'incrementi la velocitat entre un 15 – 20%, de la mateixa manera que un bulb en un vaixell de gran eslora, reduint les onades es redueix la resistència del buc on la reducció comporta un 85 – 90%. Per assegurar que la velocitat de creuer és la desitjada, les quilles s'han de col·locar en la posició correcta, perquè sinó la resistència s'incrementarà en gran mesura.
- 4) L'enfonsament profund d'un buc es pot evitar per l'acció estabilitzadora de les quilles dobles, que també són efectives per a evitar el moviment de balanceig de l'embarcació.
- 5) Té una major estabilitat direccional gràcies a les quilles.

- 6) La velocitat i la consumició de combustible són millors que de costum. L'hèlix pot funcionar sense tenir problemes de cavitació causades per les quilles.
- 7) Les quilles poden ser simètriques o asimètriques, això fa que siguin més efectives.
- 8) El moment adriant és igual si més no a un vaixell que tingui una orsa ben dissenyada amb un calat relativament profund, perquè el llast es pot col·locar en cada una de les quilles.

1.1.6. Conclusions del sistema.

A continuació es mencionaran les conclusions més significatives que s'han extret d'aquest sistema estabilitzador.

- 1) És un **sistema passiu** degut a que no necessita cap sistema per a detectar el balanceig, actua directament quan el vaixell es balanceja, és un **sistema extern**, perquè són dues planxes que se situen a l'exterior del buc. És el **sistema més simple i més utilitzat**.
- 2) El resultat de l'estabilització és d'un **30% de reducció**.
- 3) El **principi de funcionament** es basa en la **dissipació d'energia** que es produeix per la **formació de remolins** al voltant de les quilles.
- 4) Aquest sistema té una sèrie d'**avantatges**:
 - a. No té parts mòbils, per tant no necessita gaire manteniment, només el que es faria al buc.
 - b. No ocupen gaire espai i no hi ha un augment significatiu en el pes mort del vaixell.
 - c. Baix cost i fàcil instal·lació.

També té una sèrie d'**inconvenients**:

- a. Increment de la resistència del buc quan el mar està calmat (quan la reducció de balanceig no és necessària).

- b. No tots els vaixells poder ser equipats amb quilles de balanç. Per exemple, poden ser un gran problema per a vaixells pesquers quan despleguen les xarxes, i es fan malbé en els vaixells trenca-gel.
- 5) Les aplicacions més importants són:
- a. Submarins.
 - b. Vaixells pesquers de petita eslora.
 - c. Vaixells portacontenidors.
 - d. Vaixells d'arrossegament.
- 6) Dintre d'aquest sistema hi ha un **tipus** que s'anomena **Quilles dobles**. Aquestes són més petites de longitud que les quilles de balanç, però són més amples i es pot posar llast al seu interior. Les aplicacions més importants són embarcacions a motor i a vela i petites embarcacions pesqueres.

1.2. Tancs passius d'estabilització

1.2.1. Descripció general

Els tancs passius d'estabilització són un sistema passiu, ja que no necessiten de cap sistema que els ajudi a detectar i amortitzar el balanceig del vaixell. Són un sistema intern perquè es troben a l'interior del buc i no impliquen un increment de la resistència del vaixell. Aquest sistema d'estabilització és constructivament molt senzill i de cost reduït [33].

La utilització de tancs estabilitzadors passius és una pràctica comú des de fa bastants anys. Els avantatges del seu ús, derivades de la reducció del moviment de balanceig produït, al voltant d'un 50-60 per cent, unides a la facilitat tant d'instal·lació com de funcionament, expliquen que avui dia se segueixin utilitzant aquests dispositius. En el següent esquema (figura 1) es pot veure la diferència que hi ha en un vaixell quan el tanc passiu està en funcionament i quan no està funcionant. Es pot veure que a l'utilitzar-lo es redueix molt l'amplitud respecte a la freqüència.

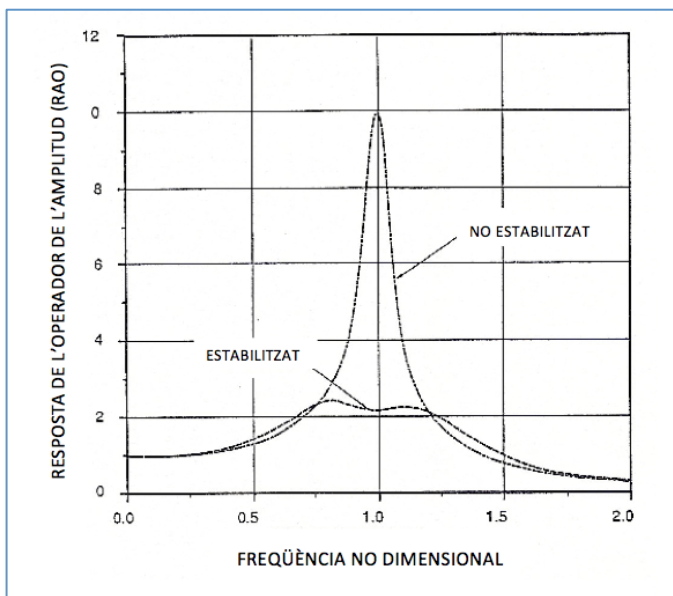


Figura 3.8: Comparació de la resposta calculada de l'amplitud del balanceig en un vaixell amb i sense un bon tanc passiu d'estabilització.

Font: Llibre Principles of Naval Architecture.

Els tancs passius d'estabilització són aquells que redueixen les amplituds del balanç pel moviment de l'aigua des d'un costat del tanc a l'altre a mesura que el vaixell es balanceja però on els efectes de la gravetat només provoquen la transferència de l'aigua [3].

Aquests sistemes també es denominen *càmeres d'aigua*. Aquest sistema consisteix bàsicament en un espai interior del vaixell comprès entre els costats, dos cobertes i dos mampares transversals, amb una determinada configuració interior i que conté una determinada quantitat de fluid, generalment aigua de mar.

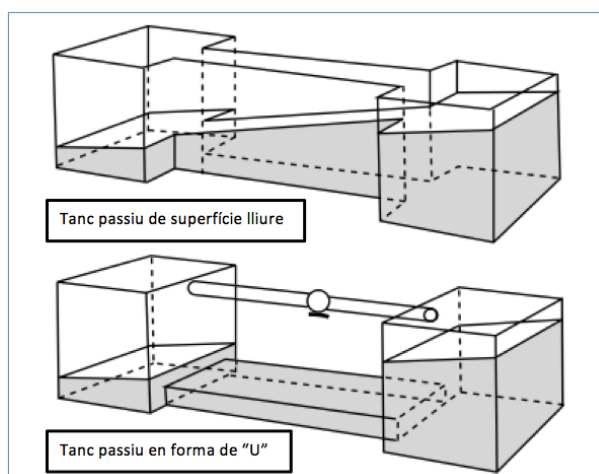


Figura 3.9: Esquema dels tipus principals de tancs passius.

Font: Llibre Principles of Naval Architecture.

El seu objectiu és la reducció del moviment de balanceig del vaixell. Per a que això es produeixi de manera òptima, és a dir, per aconseguir la màxima reducció del moviment de balanceig, és necessari dissenyar-lo correctament. Un mal disseny del tanc estabilitzador, no solament empitjora el rendiment del mateix, sinó que, en alguns casos, en lloc de reduir el moviment de balanceig, es pot arribar a amplificar.

Dissenyar un tanc estabilitzador passiu consisteix, per una banda, en establir la configuració geomètrica interior més acurada, segons les limitacions de projecte imposades: ubicació del tanc al vaixell, dimensions màximes, necessitat de pas o no a través del tanc, etc. Per una altra banda, definir en funció de l'estat de la mar i de les característiques de la navegació del buc, les quantitats d'aigua que ha de contenir el tanc.

Per a definir un tanc estabilitzador passiu és necessari predir el comportament del balanceig d'un vaixell amb o sense tanc estabilitzador. Predir equival a modelar, bé utilitzant model físic o model matemàtics. El moviment de balanceig del vaixell sense tanc estabilitzador admet un modelat matemàtic relativament senzill i que ofereix una acceptable exactitud. En canvi, per a modelar el moviment de balanceig del vaixell amb el tanc estabilitzador, és necessari conèixer les accions que exerceix el tanc estabilitzador sobre el buc, i fins avui dia, l'únic procediment acceptable és la utilització de models físics, bé sigui models a escala del buc amb el tanc al seu interior, o bé sigui

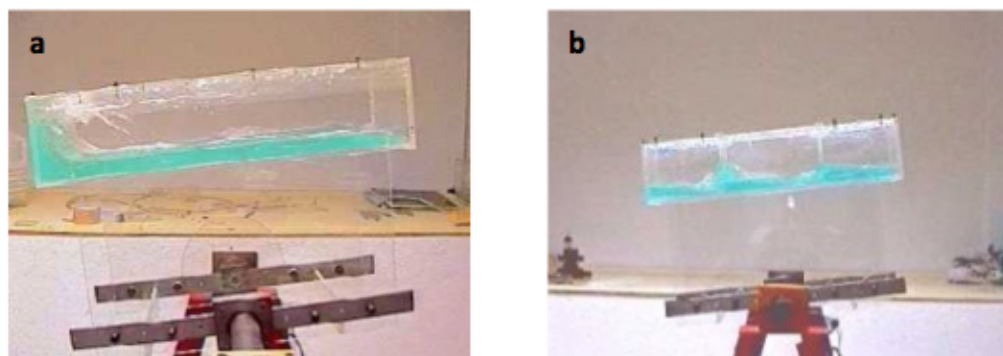


Figura 3.10: (a) Model de tanc passiu sense diafragmes, (b) Model de tanc passiu amb diafragmes.

Font: Canal d'assajos hidrodinàmics de Madrid (canal.etsin.upm.es).

amb models del tanc, fent assajos aïlladament i integrant tots els resultats als assajos d'un model matemàtic [17].

1.2.2. Característiques

A continuació es mostren diverses característiques que requereixen especial atenció [16]:

1) Aquest sistema no pot eliminar tots els moviments de balanceig. Depèn del moviment del vaixell per a generar l'sloshing o el moviment del pes. El principal efecte és una disminució significativa en el nivell de moviment de balanceig en la zona de ressonància de balanceig.

2) Tots els estabilitzadors passius d'aquest tipus incrementen els moviments de balanceig a freqüències significativament llunyanes de la ressonància de balanceig. Per exemple, en els mars que són predominantment de la popa, la freqüència de trobada pot ser molt baixa i el vaixell en realitat es pot balancejar més amb l'estabilitzador en funcionament.

3) Els tancs passius no necessiten que el vaixell estigui navegant. De fet, els estabilitzadors passius són potser, el sistema més eficaç de la reducció del balanceig a velocitat zero.

4) L'acció dels tancs passius és eliminar el punt més alt en la corba de RAO⁴. La corba és més o menys plana sobre una ampla banda de freqüències. Els moviments de balanceig del vaixell estabilitzat, per tant, tenen una característica aleatòria o impredecible similar a la del mar. Contràriament els moviments inestabilitzats tendeixen a ser regulars i predictibles, encara que el moviment de balanceig sigui molt gran. El resultat és que el vaixell estabilitzat pot ser percebut subjectivament pel personal de bord com menys confortable.

5) El moviment del líquid o el pes en estats d'alta mar pot arribar a ser tan greu que es produeixi saturació. El fluid pot colpejar la part superior del tanc o el pes pot arribar al final de la seva trajectòria. En qualsevol cas, l'estabilitzador perd eficàcia i el comportament de balanceig del vaixell s'assembla més al d'un vaixell inestabilitzat.

⁴ RAO: Response Amplitud Operator

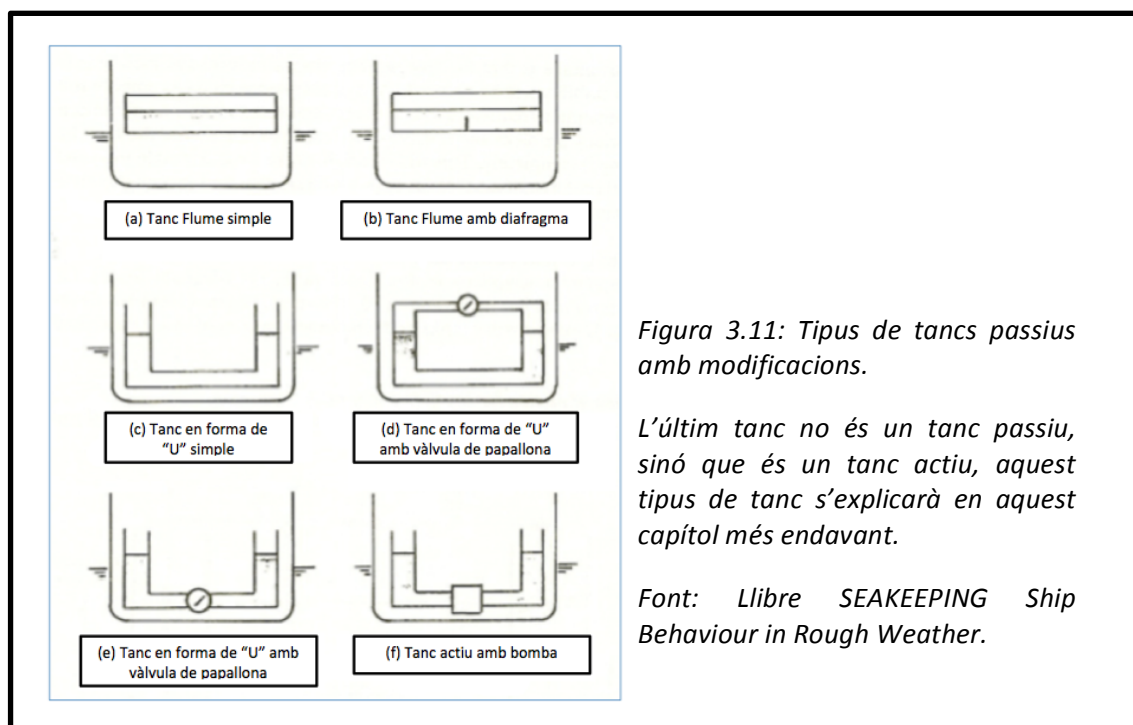
La prudència dicta, per tant, que altres mitjans d'estabilització, particularment quilles de balanç, també s'instal·lin al vaixell.

6) El fluid més comú que s'utilitza és l'aigua de mar, encara que requereixi un sistema per prevenir i evitar la corrosió. Altres fluids que es poden utilitzar són l'aigua dolça, que no requereix gaire manteniment per a prevenir la corrosió, i combustibles, encara que amb aquest si que s'ha de tenir compte amb la corrosió i els perills d'inflamabilitat.

1.2.3. Tipus

Dintre d'aquest sistema estabilitzador hi ha quatre tipus de tancs passius, cadascun amb els seus avantatges, inconvenients i amb les seves aplicacions. Aquests quatre tipus són els Tancs passius de superfície lliure, també anomenats *Tancs Flume*, els Tancs passius en forma de "U", els *Tancs Frahm* i els Tancs passius controlables.

Com es pot veure en la següent figura (figura 3) dintre de cada tipus de tanc es poden fer algunes modificacions, per a que aquests tancs funcionin correctament.



1.2.3.1. Tancs estabilitzadors de superfície lliure (Flume)

1.2.3.1.1. Descripció general⁵

Aquests tancs solen ser de forma rectangular, és a dir, són tancs completament tancats. Són tancs parcialment plens d'un fluid, normalment aigua de mar. En alguns casos poden adquirir diferents formes, però sempre en forma rectangular, com es pot veure en el següent esquema (figura 4). En altres casos en comptes de donar-li diferent forma al tanc es posen uns diafragmes a l'interior, separats certa distància. Aquests diafragmes poden ser plaques metàl·liques amb un espai al centre per a que hi pugui passar el fluid, o poden ser plaques amb forats, o senzillament plaques tubulars per a que el fluid hi passi pel mig.

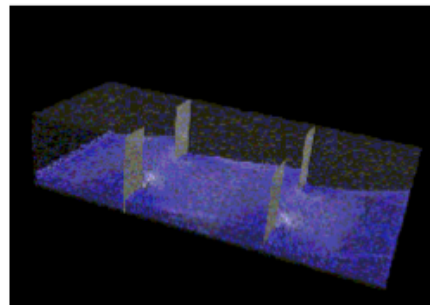
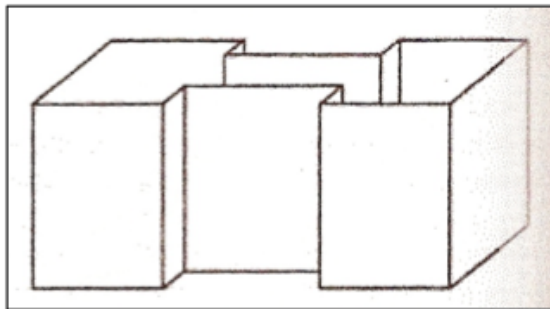


Figura 3.12: Diferents esquemes de la forma que pot tenir un tanc Flume.

Font: La fotografia de l'esquerra és del llibre Ship Stability: Mates/Masters i la fotografia de la dreta està extreta de la web de Canal de Ensayos Hidrodinámicos.

Aquestes modificacions s'incorporen per a que el fluid quan passi d'una banda a una altra del tanc durant el balanceig del vaixell, no tingui tanta força al colpejar amb els costats del tanc.

El pes del tanc està comprès entre el 0,5 i l'1% del desplaçament front al 1,5% que exigeixen els tancs en U. Aquest sistema és més sensible que en els tancs en forma

⁵ Es deu fer notar que aquests tancs són tancs estabilitzadors, no tancs d'estabilitat, ja que l'estabilitat es veu reduïda com a resultat dels valors dels moments de superfícies lliures que són necessàries per a permetre una operació efectiva del tanc [3].

de U per la rapidesa de trasllat del líquid. El període de resposta pot canviar en funció del període de balanceig del buc, el canvi de període s'aconsegueix amb un canvi de nivell de líquid.

L'efectivitat d'aquest sistema està molt lligada a la situació del tanc estabilitzador dintre del vaixell. Els moments que sorgeixen a causa de l'acceleració de la massa del pes de l'estabilitzador o del fluid d'una banda a l'altra del vaixell es contraresten si el tanc estabilitzador està situat per sota del centre de balanceig, i s'afegeix si el tanc està situat per sobre del centre de rotació. Així doncs, quant més amunt estigui col·locat el tanc dintre del vaixell major serà la seva efectivitat [6].

1.2.3.1.2. Principis de funcionament

El comportament d'aquest sistema es basa en el concepte d'amortització dinàmica de vibracions. Segons aquest concepte, per a qualsevol sistema dinàmic lineal dotat d'un grau de llibertat, pot trobar-se un sistema auxiliar (també lineal i amb un grau de llibertat) de forma que, al acoblar-los, l'efecte induït en la condició de ressonància per aquest sistema auxiliar, equilibri l'efecte que produeix l'excitació sobre el sistema principal.

Per aconseguir aquest efecte, només s'ha de seleccionar el sistema auxiliar (tanc passiu) de forma que la seva freqüència natural coincideixi amb la del sistema principal (vaixell).

Així, en la condició de ressonància, el moviment del sistema principal està desfasat 90° respecte de la excitació exterior, i com el moviment del sistema principal constitueix a la vegada la excitació del sistema auxiliar, aquest últim queda desfasat uns altres 90° amb respecte al primer, i per tant, 180° amb respecte de la excitació exterior (és a dir, el moviment del sistema auxiliar resulta en oposició a la excitació exterior, pel que els seus efectes tendeixen a cancel·lar-se mútuament) [33].

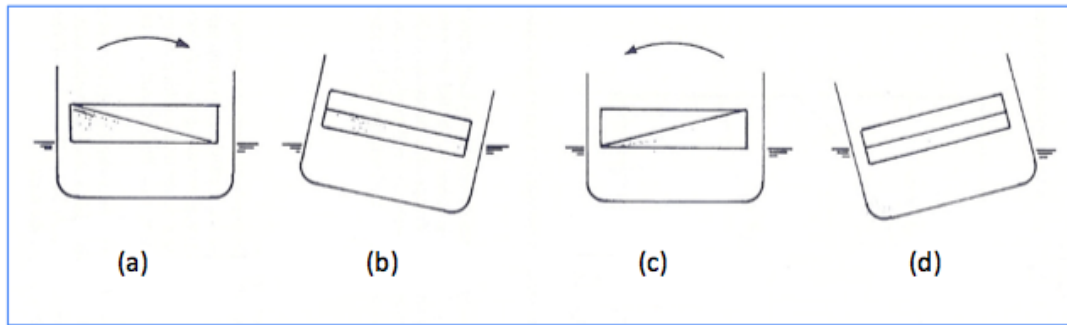


Figura 3.13: Simulació del moviment en un estat ideal del fluid dintre del tanc passiu en relació al moviment del vaixell.

En la figura (a) es pot veure que quan hi ha el màxim índex de balanceig cap a estribord, hi ha el màxim moment estabilitzador cap a babord. En la figura (b) es pot veure que quan el vaixell està totalment escorat cap a estribord, el moment estabilitzador és zero. En la figura (c) es pot veure que quan hi ha el màxim índex de balanceig cap a babord, hi ha el màxim moment estabilitzador cap a estribord. En la figura (d) es pot veure que quan està totalment escorat cap a babord, el moment estabilitzador és zero.

Font: Llibre SEAKEEPING Ship Behaviour in Rough Weather.

Degut a la seva pròpia naturalesa intrínseca (moviment d'un líquid en l'interior d'un tanc que normalment s'estén de banda a banda), aquest sistema d'estabilització presenta dos inconvenients importants:

1) Normalment es dona lloc a l'aparició de fortes oscil·lacions en l'estructura del tanc induïdes per fenòmens d'*sloshing* [36].

L'*Sloshing* és el moviment que es produeix en la superfície lliure dels líquids continguts en tancs quan en aquests s'exerceix alguna oscil·lació, translació o combinació d'ambdós moviments. Aquest moviment de la superfície lliure del fluid, caracteritzat per ser altament no lineal, genera càrregues dinàmiques importants en l'estructura dels tancs.

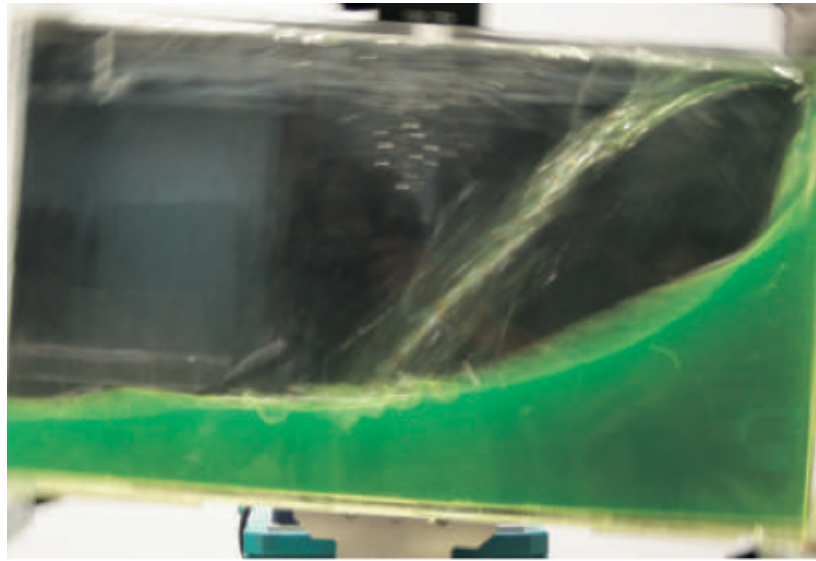


Figura 3.14: Model de tanc per a demostrar el fenomen d'sloshing.

Font: Article tècnic: El método SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) en el estudio del fenómeno de sloshing.

Aquest inconvenient es pot corregir (al menys parcialment) posant a l'interior dels tancs passius dues fileres de puntals verticals tubulars, situades en ambdues bandes de manera que sembli un emparrillat. Així la circulació del líquid intern (normalment aigua salada) a través d'aquests emparrillats dissipa part d'aquesta energia cinètica mitjançant la formació de remolins, eliminant-se d'aquesta manera els components harmònics del moviment transversal corresponents a les freqüències més altes [37].

2) En determinades circumstàncies (girs a alta velocitat, estats de la mar amb certa severitat), l'energia cinètica que adquireix el líquid del tanc en el seu moviment transversal, combinat amb l'efecte de superfície lliure, pot induir una pèrdua d'estabilitat perillosa per a la seguretat del vaixell.

Per a mitigar el perill que comporta per a la seguretat del vaixell el segon dels inconvenients esmentats amb anterioritat, resulta necessari respectar les següents indicacions:

- Un tanc passiu mai deu dissenyar-se per estabilitzar bucs amb estats de mar superiors a 4 (segons l'escala WMO⁶), sent necessari procedir al buidat total en cas de navegar amb estats de mar superiors a l'esmentat.
- En cas contrari, és indispensable introduir medis actius (bombes, compressors, etc.) capaços de modificar el moviment natural del líquid intern de forma adequada per a la seguretat del vaixell. [36]

1.2.3.1.3. Aplicacions

Aquest tipus de sistema se sol utilitzar en vaixells que han d'estar a baixa velocitat o inclús parats durant llargs períodes de temps. Per tant, s'utilitzen amb èxit en vaixells pesquers i cablers per amortitzar el seu moviment de balanceig.

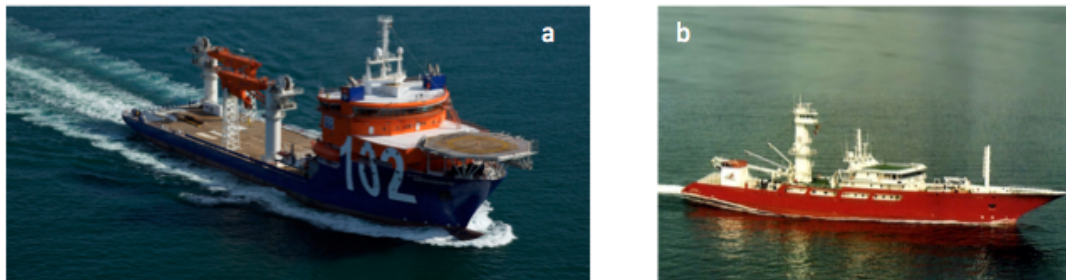


Figura 3.15: (a) Vaixell cabler (North Ocean 102), que porta incorporat un sistema de tancs passius estabilitzadors Flume, (b) Vaixell pesquer que porta instal·lat un sistema de tancs passius estabilitzadors de superfície lliure (Artza).

Font: Fotografia (a) extreta de la web de Seaplace (www.seaplace.es) i la fotografia (b) ha estat extreta de google.

⁶ WMO: World Meteorological Organization. (www.wmo.int)

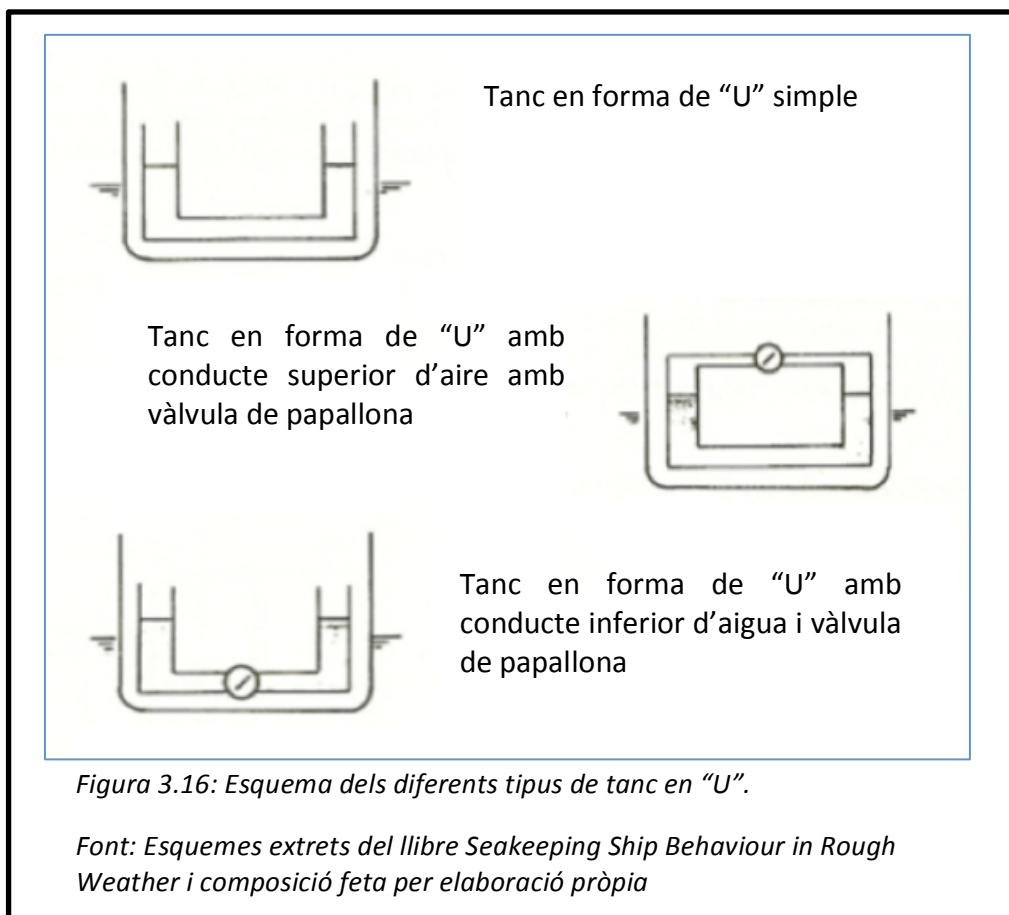
1.2.3.2. Tancs en forma de "U"

1.2.3.2.1. Descripció general

Aquest sistema és molt semblant a l'anterior en quant a principis de funcionament. Consisteix en un sistema de "vasos comunicants", és a dir, està format per dues càmeres verticals enllaçades per un conducte transversal a la part inferior.

Aquestes càmeres poden estar obertes a la atmosfera o poden estar tancades per un conducte superior on hi passa només l'aire. També se li pot afegir una vàlvula de papallona al conducte superior, per a regular la quantitat d'aire que circula d'un tanc a un altre. Els balancejos del vaixell imprimeixen a la massa de l'aigua un moviment pendular i les diferències d'altura provoquen moments adriants que s'oposen a l'escora. Aquesta vàlvula serveix per a regular el període oscil·latori.

També existeix la possibilitat de posar la vàlvula de papallona en el conducte superior, també es pot col·locar en el conducte inferior. En aquest cas el que es regularà serà la quantitat d'aigua que passa d'un tanc a un altre.



1.2.3.3. Tancs Frahm

1.2.3.3.1. Descripció general

Els tancs Frahm s'anomenen Tancs Frahm o tancs estabilitzadors exteriors. Aquest tipus de tancs es van utilitzar en bastants vaixells (incloent alguns vaixells de gran eslora) durant els principis del 1900.

Moltes vegades es diu que els tancs Frahm són els tancs en forma de "U" perquè tenen pràcticament la mateixa forma, però tenen una gran diferència. Els tancs en forma de "U" tenen un conducte inferior per on passa aigua i poden tenir (o no) un tanc superior d'aire. En el cas dels tancs Frahm l'únic conducte que tenen és el conducte superior d'aire amb una vàlvula.

L'aigua entra i surt dels tancs mitjançant obertures al buc. Aquesta configuració elimina el conducte omplert d'aigua, que existeix tant en els tancs Flume com en els tancs en forma de "U", però això comporta una sèrie de problemes.

El fet d'utilitzar aigua de mar que vagi entrant i sortint dels tancs fa que es produeixi corrosió, i la resistència al moviment d'avançament deguda a les obertures al buc i la força requerida per accelerar l'aigua de mar que està fora del vaixell (que inicialment està en repòs) a la velocitat del vaixell quan entra en el tanc. La potència requerida per a oposar-se a aquest component de resistència d'arrossegament (a vegades anomenat moment de resistència d'arrossegament) s'incrementa amb el quadrat de la velocitat i pot ser molt important.

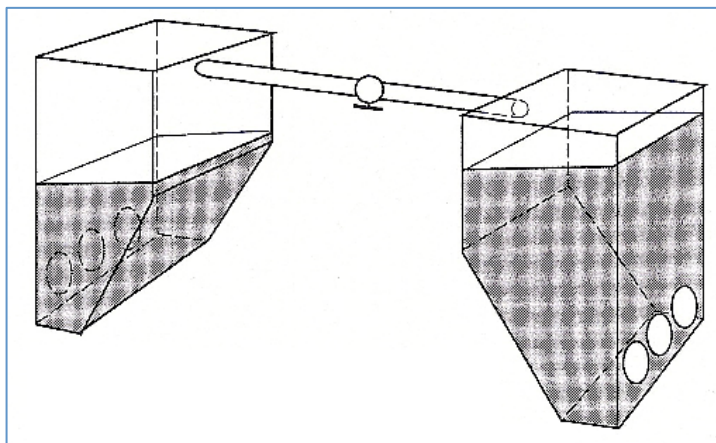


Figura 3.17: Esquema d'un tanc passiu extern o tanc Frahm.

Font: Llibre Principles of Naval Architecture.

1.2.3.4. Tancs passius controlables

1.2.3.4.1. Descripció general

Aquest tipus de tancs són molt semblants als tancs passius en “U” o tancs Frahm. La diferència és que els tancs passius controlables tenen una vàlvula a la part superior en un conducte que uneix les dues parts dels extrems del tanc. També s’assemblen molt als tancs actius en el sentit que tenen un sistema de control, però aquest sistema no requereix tanta energia com en el cas dels tancs actius.

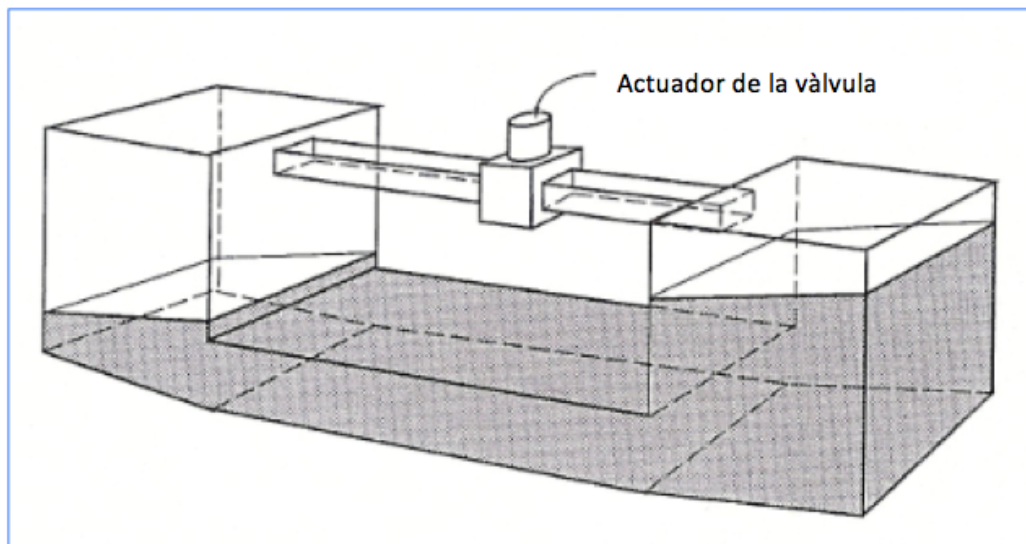


Figura 3.18: Esquema d'un tanc passiu controlable.

Font: Llibre Principles of Naval Architecture.

El concepte és el de millorar el rendiment d'un sistema passiu mitjançant l'addició d'un sistema de control sofisticat que, encara que no es canvia l'acció bàsica de l'estabilitzador, modifica aquesta acció per a que sigui més eficaç.

1.2.3.4.2. Principis de funcionament

Aquest tanc és similar en forma a la del tanc en “U”, però l'aigua d'encreuament és molt més gran en secció transversal que el conducte de l'aire i porta un sistema de vàlvula servo-controlat. Com que aquestes vàlvules només controlen el

flux d'aire, es requereix molt poca energia per a la seva activació. Quan la vàlvula està tancada, s'impedeix el pas d'aire des d'una banda del tanc a l'altra i el moviment de l'aigua entre els costats del tanc està restringit a causa de la compressió de l'aire en la part superior dels dos costats del tanc. Quan la vàlvula està oberta, l'aire pot passar lliurement i l'aigua es pot moure d'una banda a l'altra del tanc.

En les freqüències a la zona de ressonància de balanceig i per sota de la ressonància de balanceig, el fluid es pot moure d'un costat a l'altre molt més ràpidament. El resultat és exageradament una freqüència de balanceig més baixa que quan el vaixell navega sense tanc o amb un tanc passiu ben dissenyat. El sistema de control impedeix que aquest comportament insatisfactori a baixes freqüències mitjançant el tancament de les vàlvules i disminuint el flux sempre que d'una altra manera conduiria a grans moviments de balanceig. El sistema de control, per tant, regula l'eliminació progressiva del moviment del fluid sobretot en el règim de baixa freqüència. Un tanc passiu controlable ben dissenyat ofereix una estabilització de balanceig superior (aproximadament d'un 20-40 per cent millor) en totes les freqüències en comparació amb les d'un tanc passiu de la mateixa mida [6].

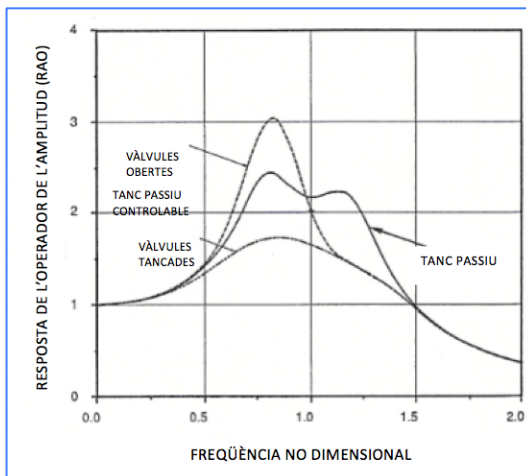


Figura 3.19: Taula comparativa entre un tanc passiu i un tanc passiu controlable.

Es pot veure que amb un tanc passiu controlable amb les vàlvules obertes és com si no hi hagués estabilitzador, amb un tanc passiu es millora el balanceig, reduint l'amplitud, i en el cas del tanc passiu controlable amb les vàlvules tancades es redueix en gran quantitat el balanceig.

Font: Llibre Principles of Naval Architecture

Els tancs passius controlables tenen alguns inconvenients [6]:

1) Per tal d'aconseguir la freqüència natural més gran del tanc que un simple sistema de control pot alentir, es necessita un conducte transversal molt gran. Per tant, un tanc passiu controlable, té major pes del fluid que un tanc passiu de la mateixa mida.

2) Un tanc passiu controlable depèn per al seu correcte funcionament del sistema de control (que normalment inclou un sistema de giroscopi i d'un sofisticat sistema electrònic) i del sistema mecànic d'activació de les vàlvules. Si algun d'aquests equips fallessin, el tanc seria ineffectiu (les vàlvules de bloqueig tancades) o tindria un rendiment inferior (les vàlvules de bloqueig obertes).

No obstant això aquests sistemes se segueixen utilitzant i no solen donar gaires problemes de funcionament.

1.2.3.4.3. Aplicacions

Les aplicacions són les mateixes que per als altres tipus de tancs passius.

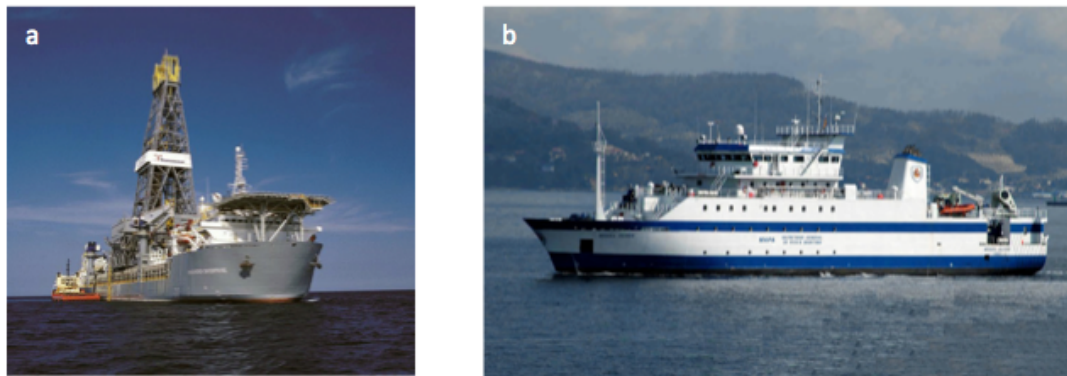


Figura 3.20: (a) Vaixell perforador (Discoverer Enterprise), (b) vaixell oceanogràfic (Miguel Oliver).

Font: Les dues fotografies han estat extretes de la web de Seaplace (www.seaplace.es).

1.2.4. Conclusions del sistema

A continuació es mencionaran les conclusions més significatives que s'han extret d'aquest sistema estabilitzador.

- 1) És un **sistema passiu**, això vol dir que no necessita d'un altre sistema per a detectar el moviment del balanceig. És un **sistema intern**, per tant, no té apèndix exteriors que es puguin fer malbé amb el medi marí.
- 2) El resultat de la **reducció del balanceig** està entre un **50-60%**.
- 3) El principi de funcionament de tots els tipus de tancs estabilitzadors és el de **l'amortització dinàmica de vibracions**. Ja sigui per superfícies lliures, com per mitjà de conductes o mitjançant obertures al buc.
- 4) Hi ha quatre **tipus** de tancs passius.
 - a. Tancs de superfície lliure (tancs Flume).
 - b. Tancs en forma de "U".
 - c. Tancs Frahm.
 - d. Tancs passius controlables.
- 5) Aquests sistemes funcionen molt bé a velocitat zero o a poca velocitat, per tant, **acostumen a utilitzar-se** en vaixells que han d'estar aturats com ara:
 - a. Vaixells pesquers.
 - b. Vaixells auxiliars.
 - c. Vaixells factoria.
 - d. Vaixells cablers.
 - e. Vaixells hospital.
- 6) El principal **inconvenient** és l'sloshing, que és el moviment que es produeix en la superfície lliure dels líquids continguts en tancs quan en aquests s'exerceix alguna oscil·lació, translació o combinació d'ambdós.
- 7) Els **avantatges o característiques** més importants són:
 - a. És un sistema **fàcil d'instal·lació**.
 - b. **No** requereix **grans costos de manteniment**, però un factor a tenir en compte és la **corrosió**, tant si s'utilitza aigua de mar com si s'utilitzen altres tipus de fluids.

- c. Funciona molt be a baixes velocitats i a **velocitat zero**.

2. Sistemes Actius

Els sistemes actius d'estabilització utilitzen un sistema de control el qual detecta el moviment de balanceig i decideix la magnitud del moment de correcció necessària. Tots els sistemes d'estabilització actius depenen del giroscopis com part del seu sistema de control.

Al igual que els sistemes passius, també existeixen sistemes interns i externs.

2.1. Aletes estabilitzadores

2.1.1. Descripció general

Les aletes estabilitzadores són el sistema d'estabilització més comú. Són un sistema d'estabilització actiu i són un sistema extern perquè es troben fora del buc encara que hi ha algun tipus d'aletes que es poden guardar dins del buc quan no estan en funcionament (retràctils).

El sistema d'aletes estabilitzadores utilitzen un o més parells d'aletes amb forma d'hydrofoil que sobresurten del buc per la zona del pantoc i se situen a estribord i a babord. La velocitat del vaixell i l'angle de les aletes a l'aigua, determinen el grau de l'elevació generada, ja sigui cap amunt o cap avall. El sistema de control d'estabilització determina el grau de moviment del vaixell, i envia una senyal als estabilitzadors hidràulics perquè alterin l'angle de les aletes per a fer que el vaixell recuperi el seu nivell estable. El resultat és normalment un 80-90% de reducció del balanceig quan es compara amb un altre vaixell que no està estabilitzat.

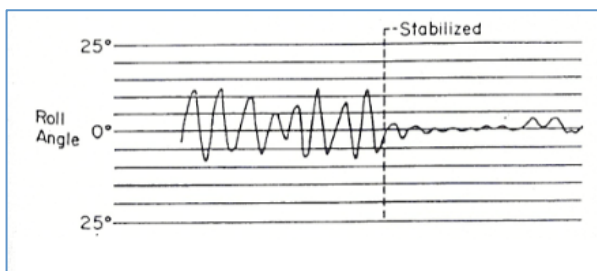


Figura 3.21: Diagrama on es pot veure que quan les aletes estan activades l'angle de balanceig es redueix considerablement.

Font: Llibre Principles of Naval Architecture.

Aquestes aletes reaccionen automàticament al capcineig i al balanceig de la embarcació limitant-les a proporcions mínimes. En cert sentit, la seva funció es pot comparar amb els alerons d'un avió, que atenuen considerablement els moviments sobtats de l'aeronau causats pel mal temps. Normalment es poden trobar aquests sistemes en vaixells mercants com ara vaixells de passatgers, ferries, vaixells portacontenidors i altres vaixells de gran eslora; i en embarcacions de mitjana i gran eslora [6].

2.1.2. Principis de funcionament

El control del balanceig es realitza creant forces de sustentació. Quan el vaixell tendeix a balancejar cap a una banda, existeix un sistema giroscòpic que detecta el moviment de balanceig i envia una senyal elèctrica al sistema actuator que fa que les aletes es moguin en una direcció que produeix unes forces contràries al balanceig. L'aleta de la banda del balanceig gira cert angle, de manera que presenta la seva cara inferior a la corrent de l'aigua amb respecte al vaixell, degut a la velocitat d'avançament del vaixell, de manera similar a l'ala d'un avió. Això origina una força hidrodinàmica de sustentació aplicada a l'aleta.

Simultàniament, l'aleta de la banda oposada s'inclina en el sentit oposat, creant una força d'igual magnitud i sentit oposat. Aquestes forces formen un parell que s'oposa al balanceig estabilitzant el vaixell.

Els moviments de les aletes són regulats per giroscopis petits, que actuen en el mateix instant en que comença el balanceig i s'encarreguen de la velocitat de gir de les aletes i del seu angle d'inclinació.

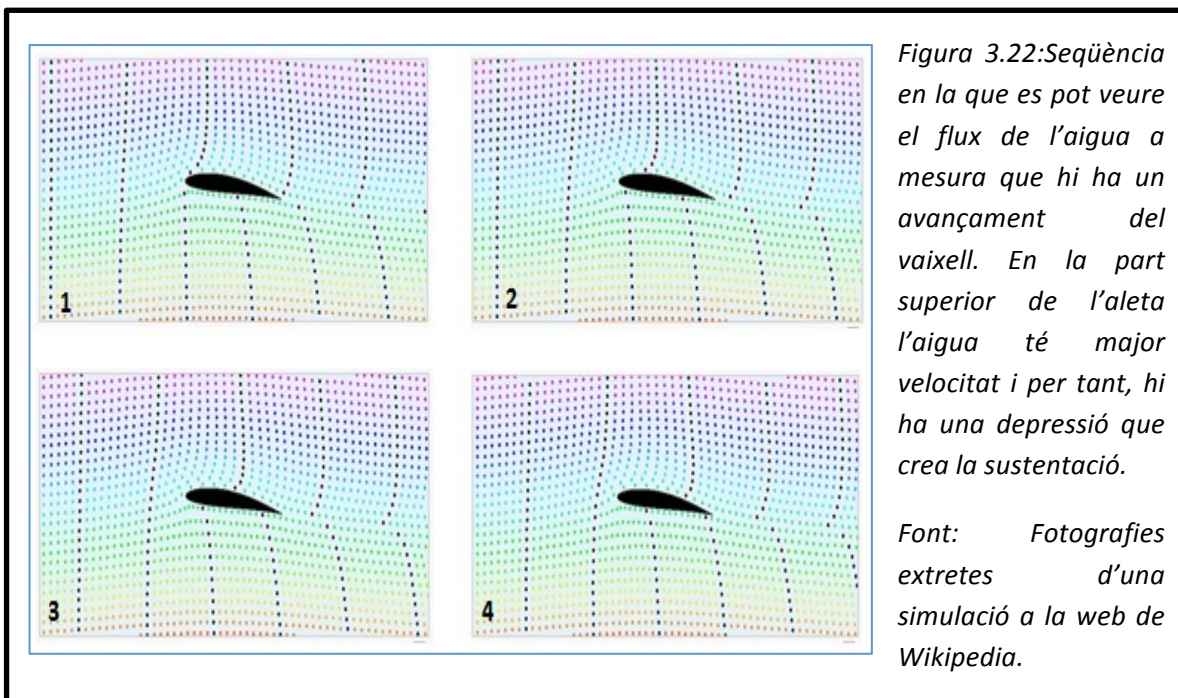
PRINCIPI DE SUSTENTACIÓ⁷

Quan l'aigua incideix en les aletes, crea una força de sustentació sempre gràcies al seu perfil hidrodinàmic i a l'angle d'atac.

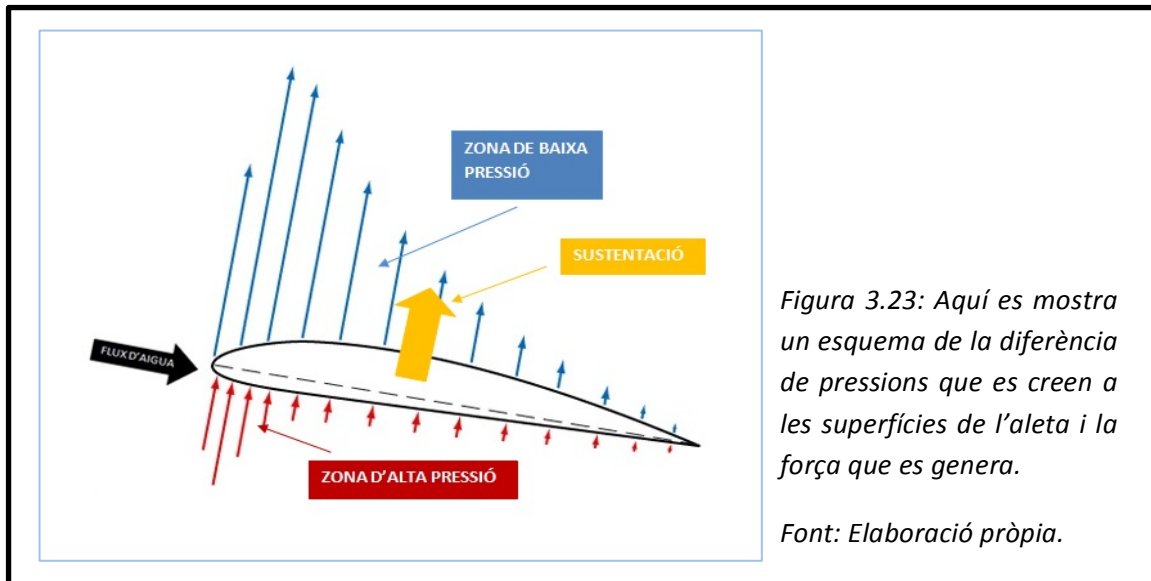
⁷ Aquesta informació ha estat extreta de diferents pàgines web com ara: Seguridad Aérea, Ministerio de Fomento (www.seguridadaerea.es/AESA), de la web Así Funciona (www.asifunciona.com), de Wikipedia, i d'altres articles trobats a internet com ara: A Physical Description of Flight Revisited de David Anderson (www.allstar.fiu.edu/aero/Flightrevisited.pdf). Part de la informació s'ha extret d'enciclopèdies, com per exemple: *Gran Enciclopèdia Larousse*.

Bàsicament, el mecanisme de generació de la sustentació és degut a que la geometria del perfil obliga a l'aigua a recórrer una distància major en la part superior de l'aleta (**extradós**) que en la seva part inferior (**intradós**).

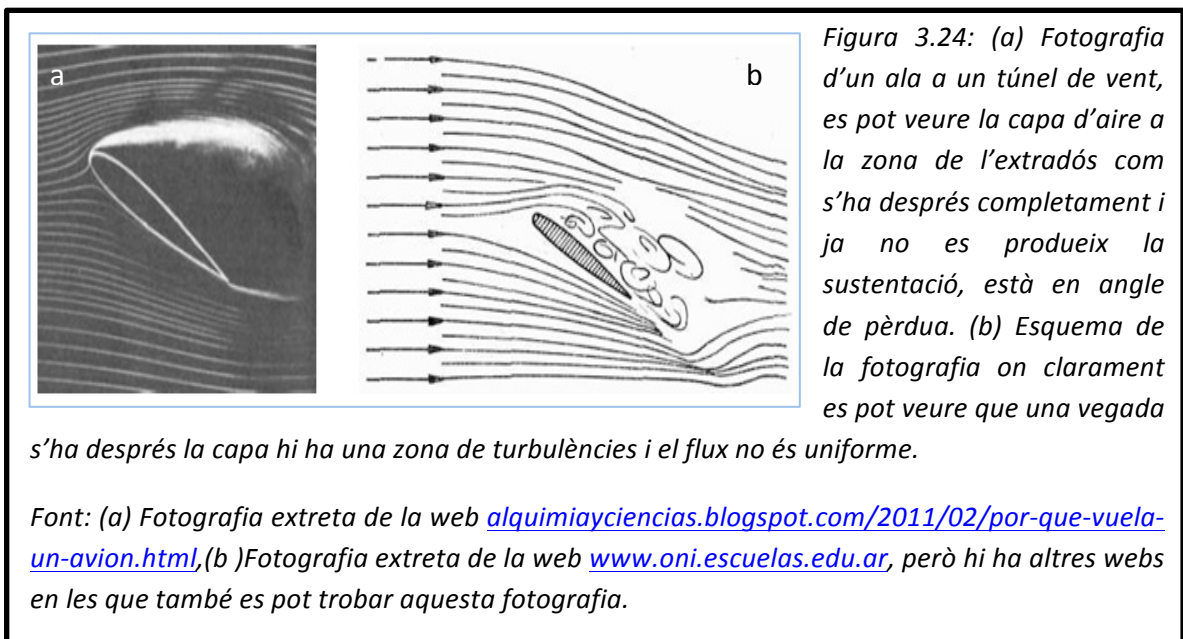
Al accelerar-se l'aigua en la part superior es produeix un efecte físic pel que la pressió de l'aigua en la part superior de l'aleta és inferior a la de la part inferior. Aquesta diferència de pressions crea una força vertical ascendent sobre l'aleta que permet una sustentació repartida al llarg de la **envergadura** de l'aleta (distància màxima de punta a punta del pla sustentador).



D'aquesta forma, la sustentació generada al llarg de tota la envergadura de l'aleta, així com l'angle amb el que l'aleta incideix amb la línia del sentit d'avançament (**angle d'atac**), crea una força ascendent que permet que el vaixell s'estabilitzi. A mesura que s'augmenta l'angle d'atac s'aconsegueix major sustentació, al elevar-se la pressió sobre l'intradós i la depressió a l'extradós.



A petits angles d'atac, el flux al voltant del perfil de l'aleta és uniforme i està adherit a ambdues superfícies del perfil. Segons va augmentant l'angle d'atac, el flux es desprèn de la superfície superior començant per la vora de sortida. El punt de separació es mou ràpidament cap endavant amb l'augment de l'angle d'atac, fins que tota la superfície superior està despresa. A aquest procés se li denomina **angle de pèrdua** (stall).



2.1.3. Tipus

Hi ha dos tipus d'aletes: aletes retràctils i aletes fixes. El primer sistema, incorpora aletes construïdes d'una sola peça, amb el seu extrem en forma de cua de peix. Quan no s'utilitzen, les aletes es guarden en obertures al buc, al costat del vaixell. El segon sistema s'utilitza per a aplicacions on la retracció de l'aleta no és necessària [24].

2.1.3.1. Aletes retràctils

Les *aletes retràctils* són aquelles que es guarden quan el vaixell està parat i no es poden fer servir degut a que no hi ha cap avantatge per al vaixell mentre estan fora. Els vaixells que porten aquest tipus d'aletes tenen una obertura al buc perquè s'introdueixin dins. Aquesta obertura és una mica més gran que l'aleta perquè s'hi pugui guardar sense problemes. Algunes aletes sobresurten del buc, però l'efecte que produeixen al vaixell és mínim.

Dintre d'aquest tipus d'aletes podem fer una altra subdivisió segons l'àrea de l'aleta, és a dir, segons la grandària de l'aleta.

2.1.3.1.1. Aletes retràctils d'àrea petita

Per a aletes d'una àrea entre 1'82 i 7'48 metres quadrats⁸, les aplicacions més importants són:

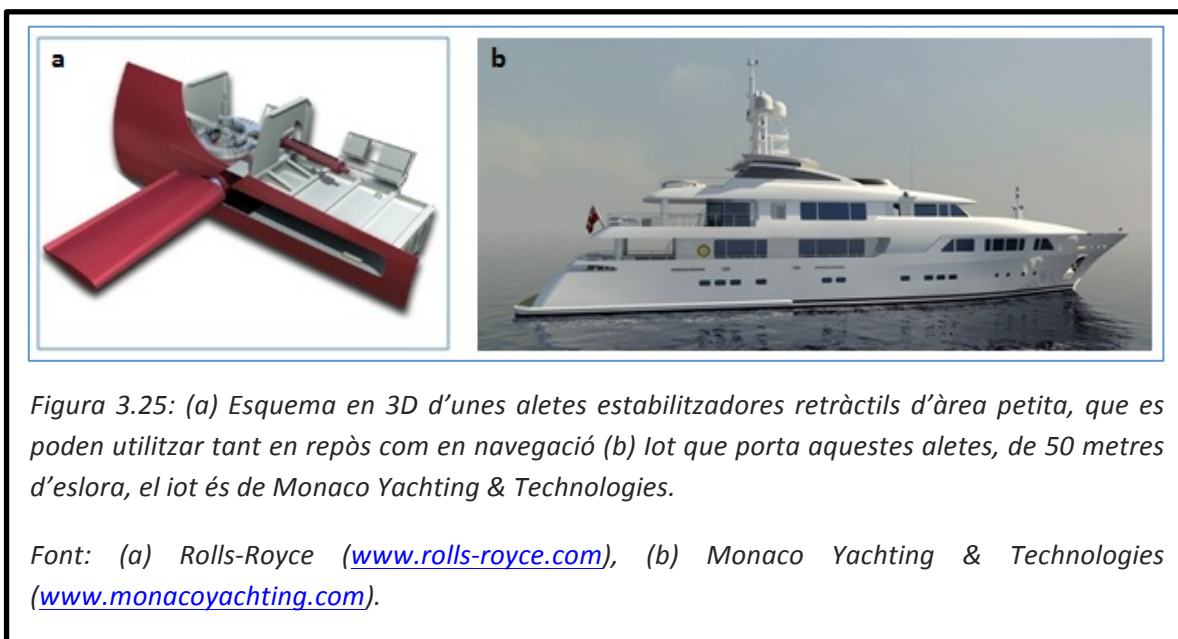
- Embarcacions d'esbarjo a motor de gran eslora, entre 50 i 95 metres.
- Petits vaixells de creuers.
- Ferries de passatgers.
- Petites embarcacions comercials i vaixells guardacostes.

⁸ Aquestes dades, al igual que les dades dels següents apartats, han sigut extretes de la web de Rolls-Royce (www.rolls-royce.com/marine), però també hi ha altres fabricants com ara Blohm+Voss Industries (www.bv-industries.com) o ABT·TRAC (www.thrusters.com/products) que tenen diferents models i també es diferencien en les mides.

Aquesta gamma d'aletes estabilitzadores ofereix altes prestacions d'amortiment del balanceig, amb un compacte i lleuger disseny. El mecanisme de funcionament de l'aleta està especialment configurat per satisfer les exigències dels vaixells més petits, amb una mida, un pes i un nombre de peces reduït. L'estabilitzador se subministra complet amb la caixa de l'aleta amb la rigidesa necessària.

Els principals avantatges són:

- 1) **Millora del rendiment** de l'estabilitzador gràcies a que l'aleta és d'una sola peça.
- 2) **Baix cost d'instal·lació** d'equips hidràulics, mecànics i de control.
- 3) Facilitat d'integració amb l'**alarma del vaixell** i els **sistemes de vigilància**.
- 4) **Obertura petita** al buc.
- 5) **Actuadors lineals** per aletes d'inclinació i extensió.
- 6) **Lubricació integral**.
- 7) Possibilitat de **substitució** de la caixa de l'aleta
- 8) **Sistema hidràulic** amb **detecció** de càrrega.
- 9) **Controls** d'última generació.



Aquesta gamma d'aletes retràctils, ideal per a mitjanes i grans embarcacions d'esbarjo, és la primera del món a estar disponible amb la funció d'estabilització en repòs SAR (Stabilisation At Rest), amb els beneficis de les aletes retràctils. L'actiu control de l'aleta i el disseny hidrodinàmic avançat fan que hi hagi una reducció del balanceig mentre que la embarcació està fondejada i també fan possible l'exercici habitual excel·lent d'aquesta gamma durant la navegació.

Els principals avantatges són:

- 1) **Seguretat:** Les aletes es poden plegar per raons de seguretat, per maniobrar en espais reduïts i per a navegar a altes velocitats, quan estiguin totalment reteres, el buc manté una aparença elegant.
- 2) **Menys resistència:** En comparació amb els estàndards de la indústria, el disseny d'aquestes aletes ofereixen menys resistència en la posició de treball.
- 3) **Menys aletes:** Aquest sistema pot assolir la reducció del balanceig necessària només amb un sol parell d'aletes.
- 4) **Simplicitat i fiabilitat:** El fet de tenir menys components i menys subsistemes significa tenir més seguretat i disponibilitat amb menys manteniment.
- 5) **Instal·lació compacta:** Les unitats normalment estan situades a la cambra de màquines, amb un simple accés pel manteniment rutinari.
- 6) **Silenciós:** Tenen un accionament electró-hidràulic per a un baix nivell de soroll.

Per a garantir aquests avantatges es van realitzar unes proves al canal d'assajos del MARIN⁹ als Països Baixos, juntament amb oceAnco Alblasserdam Yachtbuilding

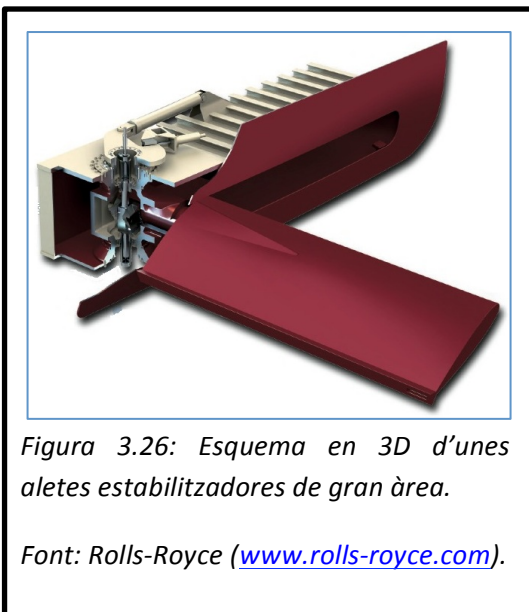
⁹ MARIN (*Maritime Research Institute*): És un institut d'investigació i recerca que es va fundar l'any 1929 i va començar el seu treball a l'any 1932. La seva recerca es basa en el comportament dels vaixells al mar i la maniobrabilitat, en el rendiment dels motors i els efectes de cavitació, viscositat i problemes en aigües poc profundes. Amb el creixement de les noves tecnologies s'han anat adaptant i ara també treballen en investigacions en alta mar i en la formació de persones.

B.V.¹⁰. El balanceig es va reduir en altures de mar de 0,5 metres en un 80%, mentre que la resta, en un 80-90% amb el vaixell en navegació i fins a un 30% quan les aletes estan en mode passiu. El rendiment de les diferents embarcacions dependran de la embarcació i de la mida del equip.

2.1.3.1.2. Aletes retràctils d'àrea gran

Per a aletes d'un àrea entre 3'8 i 22'5 metres quadrats, les aplicacions més importants són:

- Vaixells de creuer.
- Ferries.
- Vaixells portacontenidors.
- Vaixells de gran eslora.



Aquestes aletes són d'una sola peça i estan construïdes amb materials amb una modificació NACA¹¹ de la secció per maximitzar l'elevació i minimitzar la fricció, amb efectes similars a les aletes agitables.

Les característiques inclouen: un atribut innovador d'inclinació, que facilita el manteniment del cilindre i del segell sense sortir a dic sec, acoblament simplificat,

¹⁰ OceAnco Alblasserdam Yachtbuilding B.V: És la seu de una de les empreses de construcció de iots més important. Amb un drassana als Països Baixos i una oficina tècnica a Mònaco.

¹¹ NACA (National Advisory Committee for Aeronautics): El comitè va ser creat pel president Woodrow Wilson al 1915 i es va crear per a donar suport en la recerca en l'àmbit aeronàutic als Estats Units per arribar al nivell en el que estava Europa. Al 1958 el NACA va deixar d'existir donant pas a la NASA (National Aeronautics and Space Administration), que va deixar d'interessar-se en els avions i es va interessar més per les naus espacials i amb tot el relacionat amb la tecnologia de l'espai.

sistemes hidràulic i de lubricació millorats, menys pes i té un mecanisme que bloqueja la extensió per millorar la seguretat. Aquest sistema ofereix un funcionament òptim del vaixell amb costos baixos de la propietat.

Els avantatges d'aquest sistema són:

- 1) **Millora del rendiment** de l'estabilitzador, ja que és d'**una sola peça** i això fa possible una gran elevació i ofereixen la mínima resistència.
- 2) **Retracció de les aletes** quan no són necessàries, això permet millorar la seguretat durant les maniobres.
- 3) Facilitat d'integració amb l'**alarma del vaixell** i **sistema de monitorització**.
- 4) **Obertura del buc petita**, això vol dir que no implica molta resistència al buc.
- 5) **Construcció modular**.
- 6) **Reemplaçament** del segell principal **simplificat**.
- 7) **Sistema hidràulic** amb **detecció** de càrrega.
- 8) **Sistema de control** d'última generació.

Un inconvenient que podem trobar és que en aquesta gamma d'aletes, al tenir una major superfície, aquest sistema no funciona quan el vaixell està en repòs, ja que per a que funcioni i tingui beneficis per al vaixell hi ha d'haver una certa velocitat.

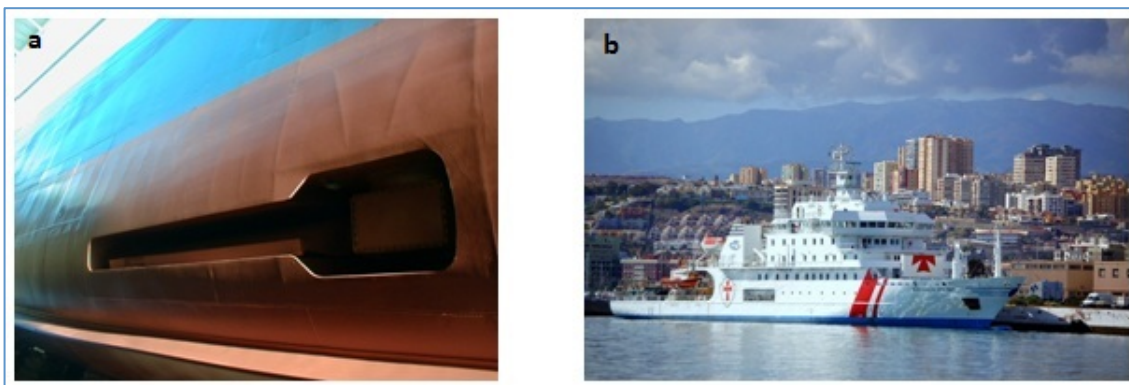


Figura 3.27: (a) Fotografia d'una aleta d'àrea gran retractada dintre del buc, aquesta aleta pertany al vaixell hospital "Esperanza del mar" que es pot veure en la fotografia (b) al port de Las Palmas.

Font: (a) Fotografia extreta del fòrum: El gran capitán (www.elgrancapitan.org), (b) Fotografia extreta de Flickr (www.flickr.com).



2.1.3.2. Aletes fixes

Les aletes fixes s'apliquen on la retracció de l'aleta no és necessària. Dintre d'aquest tipus d'aletes podem fer una altra subdivisió segons l'àrea de l'aleta, és a dir, segons la grandària de l'aleta.

2.1.3.2.1. Aletes fixes d'àrea petita

Les aletes d'un àrea entre 1'4 i 3'2 metres quadrats, s'utilitzen en petits vaixells comercials on l'alt rendiment i el baix cost són factors importants. Aquestes aletes es poden utilitzar tant amb un perfil d'aletes simples com d'alta elevació en funció de l'aplicació. Les aplicacions més importants són:

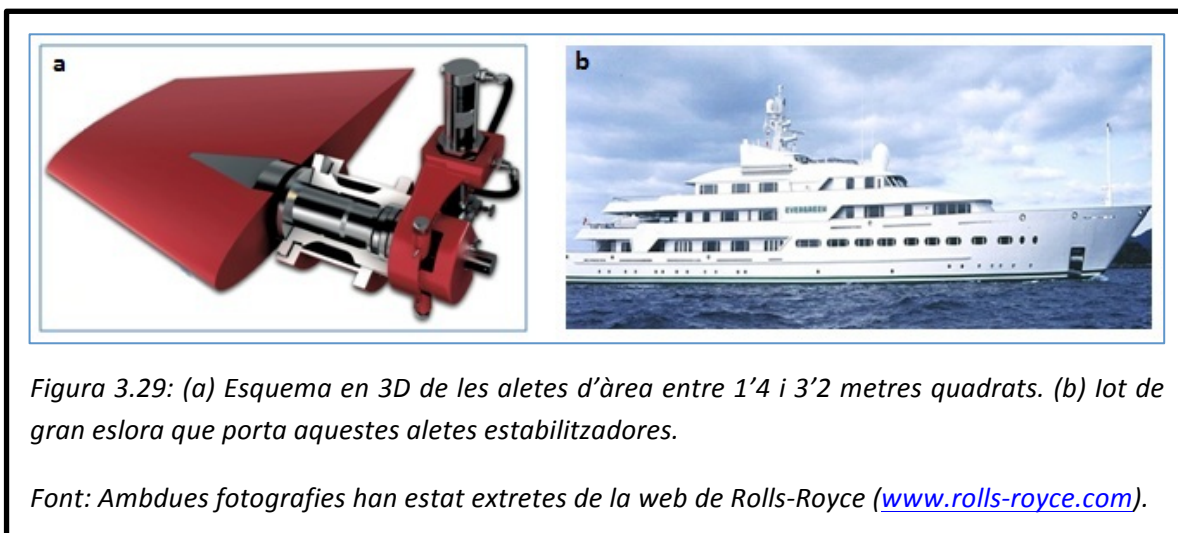
- Embarcacions d'esbarjo a motor de gran eslora.
- Transbordadors ràpids.
- Petites embarcacions comercials i vaixells guardacostes.

Aquests estabilitzadors proporcionen: amortiment d'alta resistència al balanceig, així com un disseny compacte i lleuger amb controls moderns. A més tenen un alt grau de fiabilitat amb baix cost de manteniment. La unitat de potència és

compacta i incorpora: una bomba, un motor, vàlvules de control proporcional i un refrigerador. Tots els elements necessaris estan empaquetats en la unitat de potència per a una fàcil instal·lació.

Els avantatges que ofereixen aquestes aletes són:

- 1) **Millora del rendiment** de l'estabilitzador causa de la gran elevació de l'aleta.
- 2) **Unitat d'alimentació compacta** que conté tots els equips hidràulics, mecànics i de control.
- 3) **Facilitat d'integració** amb els sistemes del vaixell.



2.1.3.2.2. Aletes fixes d'àrea gran

Per a aletes amb un àrea entre 0'85 i 16'5 metres quadrats, les aplicacions més importants són:

- Corbetes (vaixell de guerra)
- Fragates .
- Destructors .
- Portaavions.

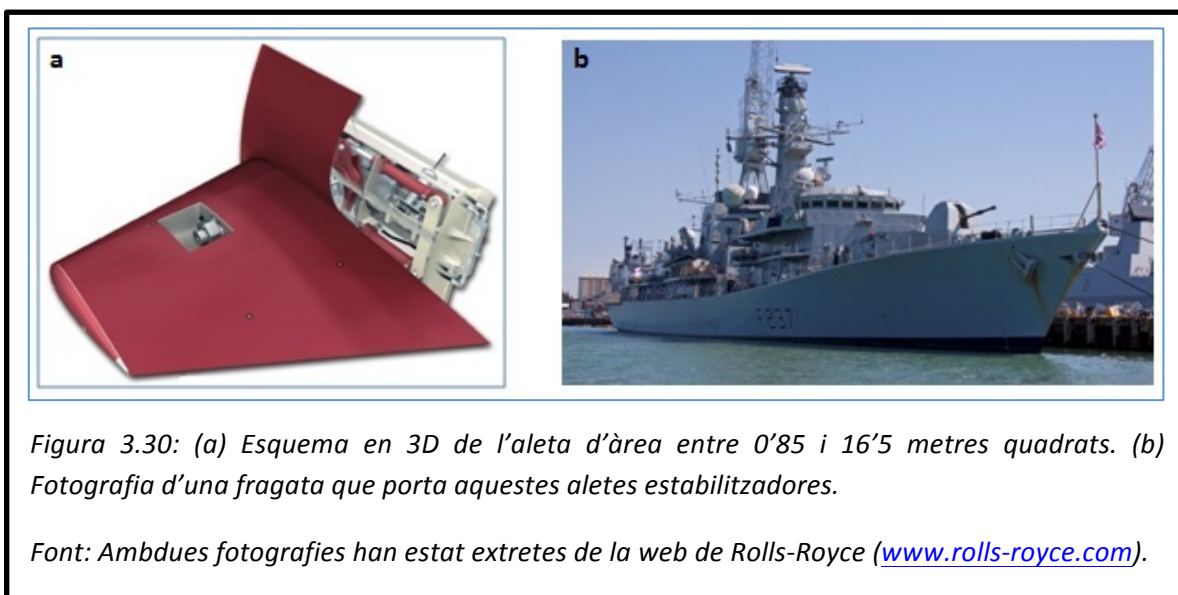
Aquest tipus d'aletes incorporen estabilitzadors de característiques hidrodinàmiques superiors i compleixen plenament amb les normes militars a nivell de

soroll, cops i vibracions. Les últimes capes de l'eix de l'aleta, la reducció de la fricció i els coixinets de llarga vida s'utilitzen en el disseny per assegurar una llarga duració d'aquests sistemes. Una instal·lació compacta de l'aleta permet que el perfil hidrodinàmic del full de l'aleta romangui intacte, el que redueix el potencial de cavitació. Si és necessari, una emissió d'aire de la vora d'atac de l'aleta també es pot utilitzar per minimitzar el soroll produït per la cavitació.

La placa de tancament del buc és una part integral de la unitat de l'aleta. La instal·lació és fàcil, així com la unitat està dissenyada per encaixar exactament amb les línies del buc, per tant, les estructures del trimat i els treballs finals es poden evitar. Els costos de manteniment són també considerablement baixos a causa de la simplicitat del disseny amb l'opció d'utilitzar un segell inflable per permetre la substitució del casquet principal de l'estopada en el mar.

Els principals avantatges són:

- 1) Coixinets de bola.
- 2) **Recobriments especials** de l'eix de l'aleta.
- 3) **Fàcil** procediment d'instal·lació.
- 4) Satisfà plenament les normes militars de soroll, cops i vibracions.
- 5) La mida de l'aleta s'adapta en coherència i disseny amb el rendiment dels vaixells.



2.1.3.3. Elements del sistema d'aletes

Aquest sistema funciona amb pressió hidràulica, que se subministra per una bomba hidràulica situada en el motor propulsor o en el grup electrogen. Cada aleta està controlada per cilindres hidràulics connectats a l'eix, i a un sistema electrònic especialment dissenyat, a més d'un piano de vàlvules que assegurin la direcció correcta del flux d'oli.

El piano de vàlvules disposa d'una vàlvula de direcció per a dirigir les aletes, una vàlvula per a centrar la posició per a anar cap enrere i una unitat de reglatge de la pressió d'oli per a regular la intensitat de l'amortiment de les oscil·lacions. Tots els components hidràulics estan interconnectats mitjançant tubs d'alta pressió flexibles en els iots i als vaixells de gran eslora estan connectats mitjançant canonades.

2.1.3.4. Aletes en motors foraborda

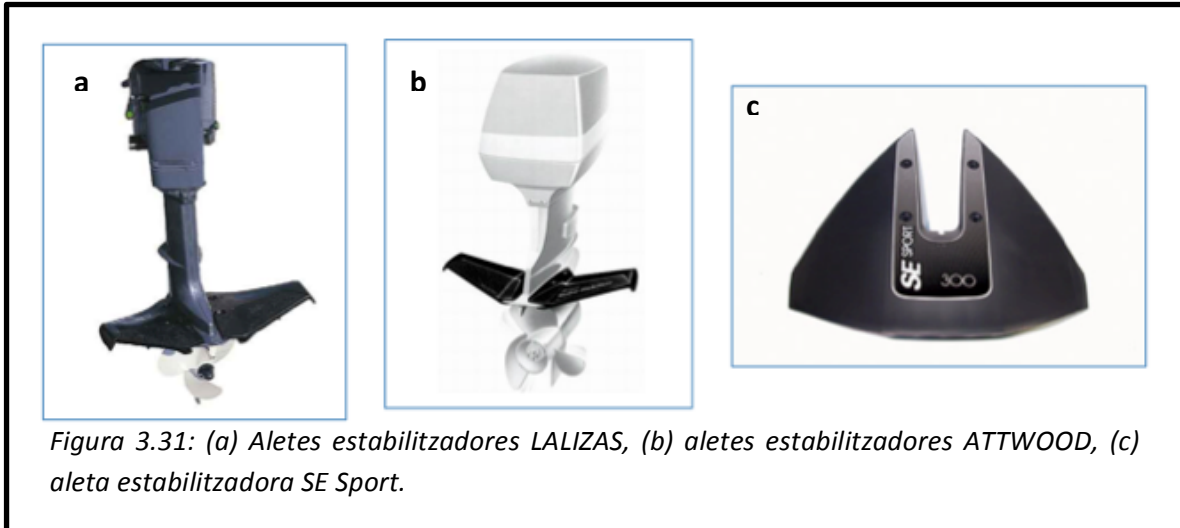
Hi ha un altre tipus d'aletes que s'instal·len als motors foraborda. Aquestes aletes són més petites i estan unides, és a dir, tenen la forma de l'aleta de la cua d'un peix. Van situades per sobre de la hèlix. Aquestes aletes tenen la mateixa funció que el sistema d'aletes que s'utilitzen en vaixells més grans. Hi ha dues mides, una per a motors entre 8 i 40CV i una altra per a motors entre 40 i 350CV¹².

Aquestes aletes ofereixen els següents beneficis:

- 1) Millora el rendiment global de la embarcació durant la navegació.
- 2) No disminueix la velocitat màxima de la embarcació.
- 3) Manté l'embarcació en planeig a velocitats molt més baixes.
- 4) Augmenta l'estabilitat de la embarcació, redueix el capcineig, el balanceig, la cavitació i les pèrdues de propulsió de l'hèlix.
- 5) Permet estalviar combustible.

¹² Aquestes dades són del fabricant SE Sport (www.sesport.com), però hi ha altres fabricants que també dissenyen aletes i les dades són semblants a aquestes. Algunes de les empreses que en fabriquen són LALIZAS (www.lalizas.com) i ATTWOOD (www.attwoodmarine.com).

Una de les avantatges que tenen aquestes aletes és que no requereixen manteniment, si hi ha vibracions excessives al volant o al motor o es trenca alguna aleta es canvien les dues per unes altres de noves.



2.1.3.5. Conclusions del sistema

A continuació es mencionaran les conclusions més significatives que s'han extret d'aquest sistema estabilitzador.

- 1) És el sistema **estabilitzador** més **comú**. És un **sistema actiu**, això vol dir que detecta quan hi ha moviment de balanceig al vaixell i fa la correcció oportuna. És un **sistema extern**, per tant, té més possibilitats de que es facin malbé els apèndix que sobresurten del buc, a més, té més possibilitats que entri aigua dins del buc per la obertura on surt l'eix de l'aleta.
- 2) El resultat de l'estabilització és alta, d'un **80-90% de reducció**.
- 3) El principi de funcionament es basa en la **sustentació** de les aletes.
- 4) Hi ha dos **tipus** d'aletes:
 - a. **Aletes retràctils**, que són les que es poden guardar dins del buc quan no són necessàries. Dintre d'aquestes hi ha una altra subdivisió:
 - i. Aletes retràctils d'àrea petita.
 - ii. Aletes retràctils d'àrea gran.
 - b. **Aletes fixes**, que són les aletes on la retracció no és necessària. Dintre d'aquestes hi ha una altra subdivisió:

- i. Aletes fixes d'àrea petita.
 - ii. Aletes fixes d'àrea gran.
- 5) Per a cada tipus d'aleta hi ha unes **aplicacions** específiques, però d'aquí en podem treure les més generals:
- a. Embarcacions d'esbarjo a motor de gran eslora (50-95 metres).
 - b. Petits i grans vaixells creuers.
 - c. Vaixells portacontenidors.
 - d. Ferries.
 - e. Transbordadors ràpids.
 - f. Petites embarcacions comercials.
 - g. Vaixells de guerra (destructor, portaavions, fragates)
- 6) Hi ha uns **beneficis i avantatges** específics per a cada tipus d'aletes, però aquí es mencionaran els més generals:
- a. **Millora del rendiment** de l'estabilitzador gràcies a que són d'una sola peça.
 - b. **Baix cost d'instal·lació** d'equips hidràulics, mecànics i de control.
 - c. Aquests sistemes se solen utilitzar **durant la navegació**, perquè a baixes velocitats perden funcionalitat. Però ha sortit un tipus que també es pot utilitzar en **repòs**.
 - d. Facilitat d'integració amb **l'alarma del vaixell i sistema de monitorització**.
 - e. **Construcció modular**.
 - f. Sistema hidràulic amb **detecció de càrrega**.
- 7) Hi ha un altre tipus d'**aletes per a motors foraborda**. Aquestes aletes són més petites i estan unides. Aquestes aletes a part de reduir el balanceig de la embarcació també redueixen el capcineig, la cavitació i les pèrdues de propulsió de l'hèlix.

2.2. Tancs actius

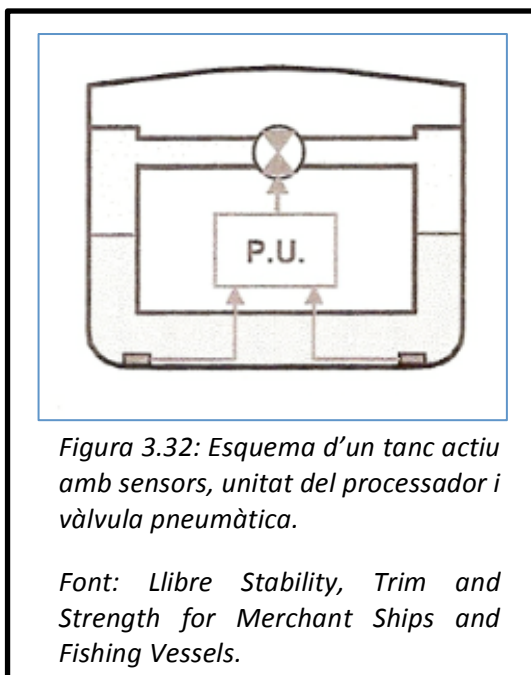
2.2.1. Descripció general

Aquest sistema d'estabilització és un sistema actiu, perquè té un sensors que detecten el balanceig i fan que actuïn els tancs d'una manera o d'una altra. Són un sistema intern perquè no tenen parts que sobresurtin del buc.

Aquests tancs tenen un mitjà positiu de dirigir l'aigua a un costat o a l'altre. Hi ha dos tancs a cada costat del vaixell i el nivell d'aigua es controla mitjançant una bomba o bombes que actuen en resposta a un sistema de detecció del balanceig giroscòpic [3].

2.2.2. Principis de funcionament

Aquest tipus de sistema assegura que la transferència d'aigua per oposar-se al balanceig de retorn sempre es produeix al final del balanceig, independentment del seu període. Això pot aconseguir-se mitjançant la construcció d'un tanc en forma de "U" i controlar el flux d'aigua entre els dos costats del tanc amb un sistema de vàlvules operades pneumàticament i mitjançant sensors de pressió.



Aquest sistema disposa de sensors, d'una unitat del processador que registra tant la diferència de pressió entre els dos tancs com la taxa de canvi de la diferència de pressió i d'una vàlvula d'aire que només s'obre si hi ha una diferència de pressió i la velocitat de diferència de pressió és zero.

L'aigua només pot fluir d'un costat a l'altre del tanc si la vàlvula d'aire s'obre per permetre que la pressió de l'aire s'iguali.

L'aire es pressuritza per minimitzar la infiltració d'aigua a través del tanc abans de que la vàlvula s'obri.

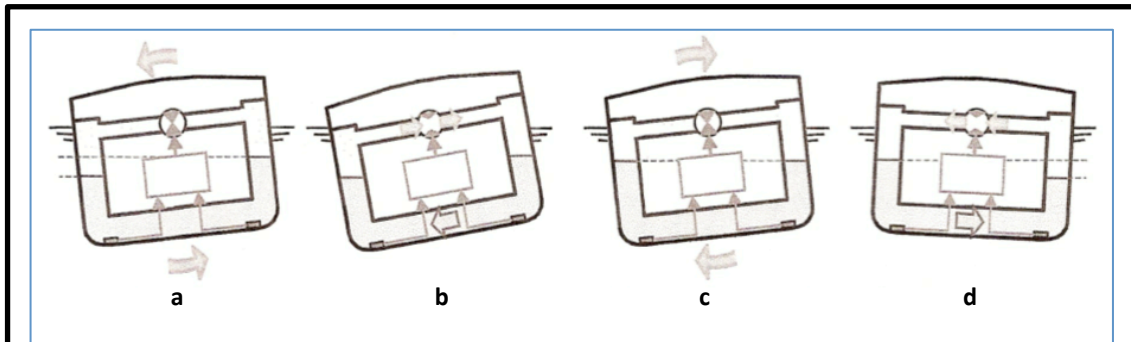


Figura 3.33: Simulació del moviment del fluid del tanc actiu respecte al moviment del vaixell.

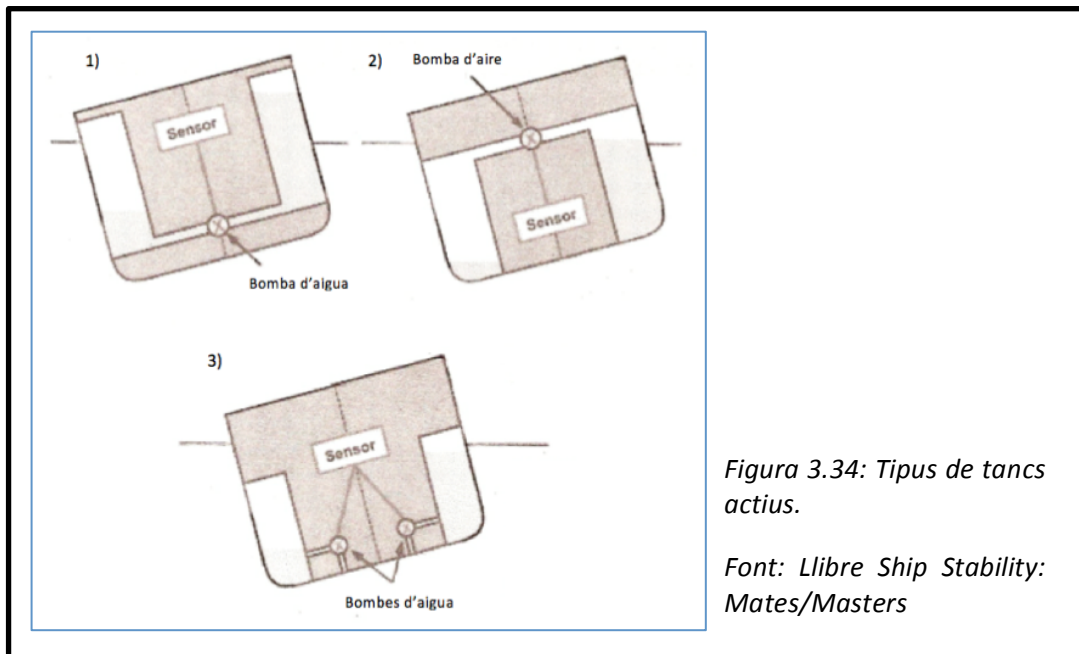
En la figura (a) es pot veure que el vaixell es balanceja cap a babord, existeix una diferència de pressió però encara no es suficient, per tant, la vàlvula està tancada. En la figura (b) es pot veure que és el final del moviment, en aquest cas la diferència de pressió arriba a un màxim, per tant, la vàlvula s'obre, deixant que l'aigua flueixi. En la figura (c) es pot veure que és el retorn del balanceig i la diferència de pressió es torna zero, per tant, la vàlvula es tanca i el flux d'aigua es para. En la figura (d) es pot veure que és el final del retorn del balanceig i la vàlvula d'aire s'obre quan la diferència de pressió arriba a un màxim en la direcció oposada.

Font: Llibre Stability, Trim and Strength for Merchant Ships and Fishing Vessels.

El flux d'aigua a través del tanc sempre actua per limitar el grau de balanceig de retorn i roman passiu, és a dir, que es basa en la gravetat, però la unitat del processador i el funcionament de la vàlvula requereixen una petita quantitat d'energia, que pot estar recolzada per la provisió d'energia d'emergència. La pressió de l'aire ha de ser suficient per prevenir fuites d'aigua a través del tanc, abans de l'obertura de la vàlvula d'aire [2].

2.2.3. Tipus

L'aigua es distribueix de manera que la major quantitat estarà al tanc que estigui a la part superior mentre hi hagi moviment de balanceig. Per a que això succeeixi hi ha tres tipus de sistemes [3]:



- 1) En el primer cas, l'aigua es bombeja des d'un dipòsit a un altre per tal de mantenir la major quantitat en el dipòsit superior.
- 2) En el segon cas, el nivell de l'aigua és controlada indirectament per mitjà de la pressió de l'aire sobre l'aigua en cada tanc, els tancs estan oberts al mar a la part inferior. Aquest sistema té l'avantatge de necessitar menys potència.
- 3) En el tercer cas, cada tanc té la seva pròpia bomba per afegir o treure l'aigua del tanc mentre que el vaixell es balanceja, és molt similar al primer cas.

2.2.4. Característiques, avantatges i inconvenients

Per una sèrie de raons aquest sistema no és un dels més atractius d'entre els sistemes actius que existeixen.

Primerament, la bomba quan s'activa en un sistema accelera el fluid en el tanc ja sigui a babord o a estribord. Una quantitat considerable de líquid arriba a aquest costat un temps després de que el bombejament comença. És a dir, hi ha un retard considerable entre el moment en que l'aigua es posa en moviment i el moment en que la reducció del balanceig desitjada s'aconsegueix. No és realment possible anticipar el

moment de balanceig requerit, i l'addició d'aquest retard en la resposta limita l'efectivitat de l'estabilització.

Per tant, hi ha raons que indiquen que els tancs actius no són tant bon sistema d'estabilització com per exemple les aletes estabilitzadores, que responen més ràpidament al moviment de balanceig.

La quantitat de potència instantània de bombament requerida per aconseguir una millor estabilització amb els tancs actius que amb els tancs passius és substancial i pot ser tan alta com el 10 per cent de la potència de l'eix instal·lada al vaixell. La potència mitjana, d'altra banda, és teòricament negativa (fora del tanc) ja que l'estabilitzador actua com un absorbidor d'energia de les ones. És poc probable que un sistema realment doni una potència útil neta, ja que el tipus de bombes necessàries no tenen una eficàcia extremadament alta [6].

2.2.5. Aplicacions

Aquest és un sistema que s'utilitza més aviat en vaixells de gran eslora, degut a que té un millor funcionament quan el vaixell està parat o a baixa velocitat, degut a que hi ha un retard entre que es detecta el balanceig i el moment de la resposta.

Les aplicacions més importants són:

- Vaixells RO-RO.
- Vaixells portacontenidors.
- lots de gran eslora.
- Vaixells auxiliars d'alta mar.
- Vaixells de submarinisme.
- Vaixells cablers.

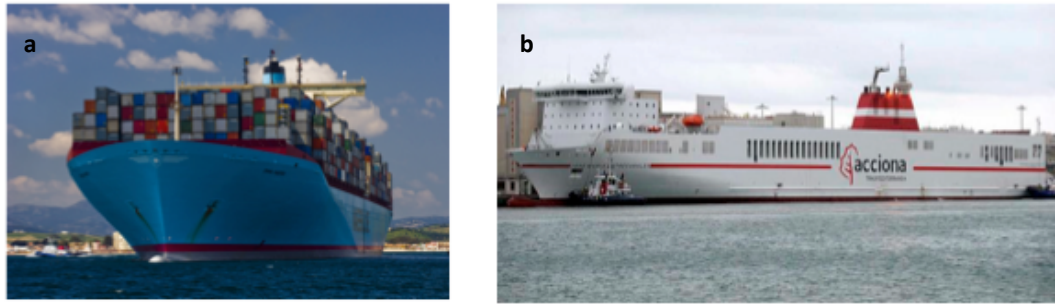


Figura 3.35: Fotografies de vaixells que porten tancs actius com a sistema estabilitzadors, la fotografia (a) vaixell portacontenidors (Emma Maersk), la fotografia (b) vaixell Ro Ro (José Maria Entrecanales)

Font: Extret de diverses webs d'internet.

2.2.6. Tancs amb sistema antiescora intering [24]

2.2.6.1. Descripció general

Els tancs antiescora han estat desenvolupats per mantenir els vaixells en posició vertical durant la càrrega i la descàrrega. Aquest sistema utilitza una purga pneumàtica d'aire constant i un sistema de vàlvula de regulació per forçar l'aire d'una part del tanc a l'altra per a ventilar-lo. Això fa que es transfereixi l'aigua ràpidament d'un tanc a l'altre, creant un moment adriasant, que compensa les forces d'escora. Aquest sistema té doble funcionalitat, es pot fer servir com un sistema independent i/o en combinació amb la contínua escora cíclica en el nivell del gel (Ice-Heeling System).

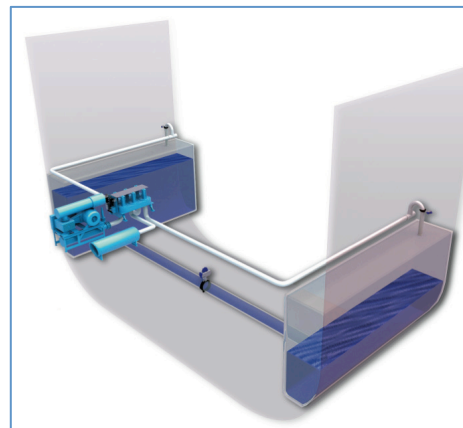


Figura 3.36: Tanc amb sistema antiescora intering.

Font: Fotografia cortesia de la web de Rolls-royce (www.rolls-royce.com).

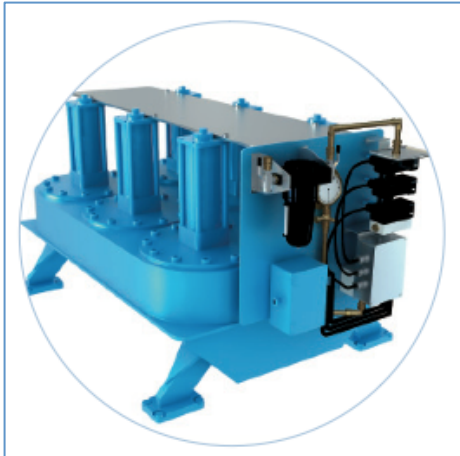


Figura 3.37: Grup de vàlvules del bufador d'aire, que formen part del sistema antiescora.

Font: Fotografia cortesia de la web de Rolls-Royce (www.rolls-royce.com).

El sistema de fins a 5000tm/min es troba en funcionament en molts vaixells i es pot subministrar ja sigui com a bufador autònom d'aire, combinat amb els tancs estabilitzadors, amb la bomba activada, o integrat amb el sistema de llast. Els sistemes de control del trimat es poden combinar amb aquest sistema antiescora. El sistema de tancs antiescora utilitza l'aigua de llast dels tancs de proa i de popa del vaixell per compensar qualsevol moment de trimat automàticament. Es pot posar en funcionament amb el sistema de bombes del trimat o dissenyat com una part integral del sistema de llast.

2.2.6.2. Aplicacions i avantatges

Els avantatges més importants que es poden destacar són:

- 1) Facilita la càrrega i la descarrega.
- 2) Evita els danys a les rampes, a la càrrega rodada, a les guies cel·lulars i als contenidors.
- 3) Canvi il·limitat en la direcció del flux d'aigua (sistema de bufador d'aire).
- 4) No hi ha pics de corrent durant l'arrancada del motor (sistema de bufador d'aire).
- 5) Reducció del temps a port amb el consegüent estalvi en els costos portuaris.
- 6) Els sistemes amb la compensació d'escora tenen una taxa de fins a 5000tm/min quan està en funcionament.

Aquest tipus de sistema el podem trobar en diferents tipus de vaixells, normalment en vaixell de gran eslora que hagin de fer operacions de càrrega i

descàrrega de mercaderies, tant de mercaderia rodada com de passatgers i altres tipus. Les aplicacions més importants són:

- Vaixells RO-RO.
- Vaixells portacontenidors.
- Ferries.
- Vaixells trenca gel.
- Vaixells auxiliars d'alta mar.
- Vaixells de càrrega pesada.

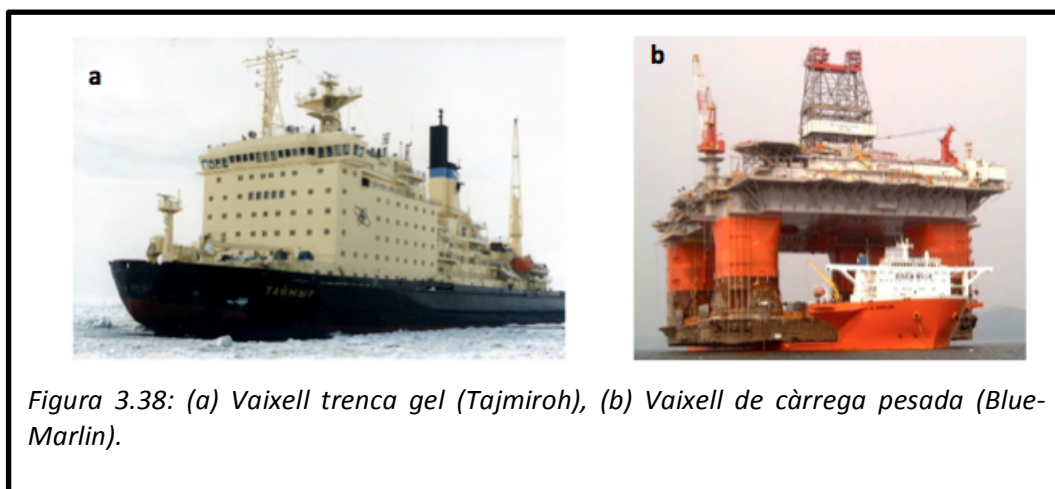


Figura 3.38: (a) Vaixell trenca gel (Tajmihroh), (b) Vaixell de càrrega pesada (Blue-Marlin).

2.2.7. Conclusions del sistema

A continuació es mencionaran les conclusions més significatives que s'han extret d'aquest sistema estabilitzador.

- 1) És un **sistema actiu** perquè necessita d'altres sistemes per detectar el moviment de balanceig i enviar un moviment de resposta del sistema estabilitzador. És un **sistema intern**, perquè està situat dins del vaixell i no té apèndix que sobresurtin del buc i que es puguin fer malbé.
- 2) El resultat de la **reducció** del balanceig és un **40-50%**.
- 3) El **principi de funcionament** es basa en la transferència d'aigua d'un costat del tanc a l'altre mitjançant un sistema de vàlvules operades pneumàticament i de sensors de pressió.

- 4) Dintre d'aquest sistema hi ha un **tipus** de tanc que s'utilitza per adriar el vaixell quan s'està en la operació de càrrega/descàrrega del vaixell, aquest tipus s'anomena **Tanc amb sistema antiescora intering**.
- 5) Les aplicacions d'aquest sistema són diverses, però generalment s'acostumen a utilitzar en vaixells mercants de gran eslora, com ara en:
- a. Vaixells Ro-Ro.
 - b. Vaixells portacontenidors.
 - c. Vaixells trenca-gel.
 - d. Vaixells cablers.
 - e. Vaixells de càrrega pesada.
- 6) Per aquest sistema hi ha diferents **inconvenients**:
- a. Hi ha un retard entre el moment que l'aigua es posa en moviment i el moment en que s'aconsegueix la reducció del balanceig desitjada.
 - b. No és possible anticipar el moment de balanceig requerit, això fa que es limiti la efectivitat de l'estabilització.
 - c. El sistema no dona una potència neta útil degut a que el tipus de bombes necessàries no tenen una eficàcia extremadament alta.
- També hi ha avantatges, però no tant per als tancs actius normals, que no són gaire rentables, sinó més aviat per als tancs amb sistema antiescora intering. Alguns d'aquests avantatges són:
- a. Faciliten la càrrega i la descàrrega.
 - b. Eviten els danys a les rampes, a la càrrega rodada, a les guies cel·lulars i als contenidors.
 - c. Faciliten la reducció del temps a port amb el consegüent estalvi en els costos portuaris.

2.3. Sistemes de pesos actius

2.3.1. Descripció general

És un sistema actiu, perquè depèn d'un sistema per detectar el moviment de balanceig i després fer un moviment de resposta per amortitzar el balanceig. És un sistema intern perquè no té parts que sobresurtin del buc.

El sistema de pesos actiu redueix el moviment de balanceig de la mateixa manera que els tancs estabilitzadors, excepte que en comptes de fer que un líquid es mogui d'un costat a un altre del tanc produint "sloshing", es mou un pes sòlid. Aquest pes es manté prop de la línia central del vaixell mitjançant l'ús de molles i algun mecanisme d'amortiment. En algun cas es posa el pes i es trasllada a través d'un fluid viscosos per a reduir el moviment de balanceig.

Els primers intents van tenir dificultats mecàniques per aconseguir que el pes respongués correctament al controlador. Però els avenços en la tecnologia han contribuït a la millora d'aquest concepte. Igual que amb els tancs, el retard de fase del pes és un factor molt important per a contrarestar el balanceig.

La potència d'estabilització és proporcional a la massa del pes antibalanceig i a la distància del centre de balanceig. Aquest tipus de sistema s'utilitza en petites embarcacions degut a que el pes ha de ser més gran quant més gran sigui l'embarcació. Alguns autors diuen que el pes recomanable està entre el 0'5 i el 5 per cent del desplaçament en funció de l'altura metacèntrica (GM). En alguns estudis es mostra que incrementant el pes es redueix l'amplitud de balanceig, però no es redueix el balanceig en una àmplia franja de freqüències.

El moviment dels pesos estabilitzadors també té diferents nivells d'activació. Un pes estabilitzador passiu controla el moviment del pes perquè aquest no es desplaci fora de la zona on s'ha de moure. A més el pes estabilitzador passiu afegeix rigidesa addicional i dissipa l'amortiment del sistema. El sistema actiu genera la potència d'estabilització a través de l'acceleració del pes. Alguns autors recomanen una unitat d'energia conservativa, com ara un tipus d'oli hidrostàtic.

El principal avantatge d'aquest sistema és que no té l'efecte de superfície lliure que degradi l'estabilitat. Un sistema ben dissenyat requereix menys espai que un sistema de tancs equivalent perquè aquest sistema de pesos pot tenir major densitat que qualsevol líquid, això fa que el sistema sigui més petit i ocupi menys espai.

Aquest sistema s'ha utilitzat menys que altres sistemes estabilitzadors, degut al fet de tenir un pes movent-se dintre del vaixell fa que hi hagi moltes complicacions amb la maquinària.

El sistema per a dissenyar aquest sistema és molt semblant al del tancs en forma de "U". Encara que les equacions se simplifiquen perquè el balanceig i les forces per reduir-lo es coneixen.

Aquest sistema se sol utilitzar en embarcacions petites o en vaixells patrullers, però de tota manera és un sistema que no s'utilitza gaire degut a que necessita més pes i més potència. Però té l'avantatge de que la seva efectivitat és independent de la velocitat [38].

2.3.2. Conclusions del sistema

A continuació es mencionaran les conclusions més significatives que s'han extret d'aquest sistema estabilitzador.

- 1) És un **sistema actiu**, perquè necessita un sistema per a la detecció del balanceig. És un **sistema intern** perquè no té parts que surtin del buc.
- 2) Aquest sistema ja **no s'utilitza** gaire degut a que necessita més pes i més potència que altres sistemes per a funcionar.
- 3) El **principi de funcionament** és similar al dels tancs estabilitzadors, la diferència és que aquest sistema utilitza un pes sòlid, que pot estar dintre d'un fluid viscos o amb un sistema de molles, però sempre a prop de la línia central del vaixell.
- 4) Té aplicacions diverses, però les més destacables són:
 - a. Petites embarcacions.

- b. Embarcacions patrulleres.

2.4. Giroscopi estabilitzador

2.4.1. Descripció general

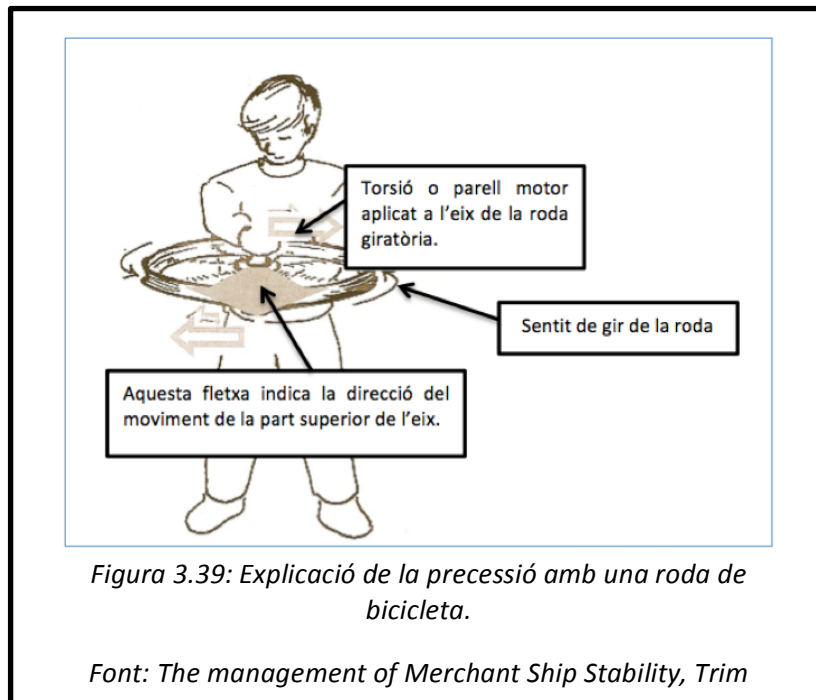
El giroscopi estabilitzador és un sistema actiu i és un sistema intern perquè va instal·lat a l'interior del buc i no té apèndixs que sobresurten de l'estructura del vaixell. És un sistema que feia uns anys no s'utilitzava gaire, però cada cop més comença a utilitzar-se tant en nàutica esportiva com en vaixells de gran eslora comercials i militars.

2.4.2. Principis de funcionament

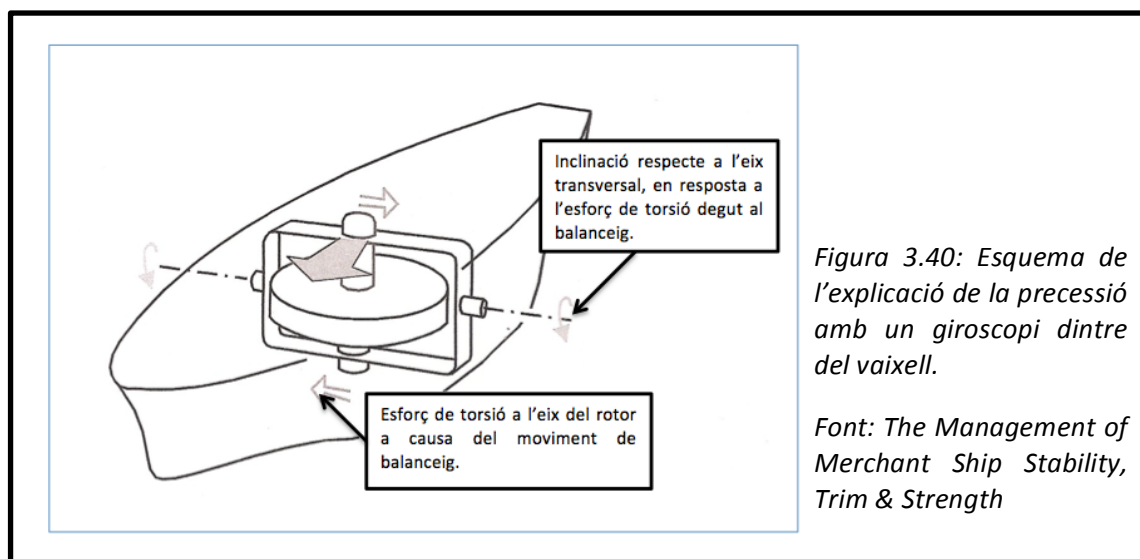
El principi de funcionament d'aquests sistemes es basa en el concepte de precessió estacionària¹³. Segons aquest concepte, quan un cos que gira a velocitat constant sobre un dels seus eixos principals d'inèrcia (denominat eix de rotació), és sotmès a un moviment de gir a velocitat igualment constant al voltant d'un altre qualsevol dels seus eixos principals d'inèrcia (denominat eix de precessió). Es produeix un moment de reacció perpendicular a aquests eixos, de valor proporcional al producte de les velocitats de rotació i precessió.

Es pot explicar el principi de precessió estacionària d'una manera més senzilla, fent girar una roda de bicicleta. Si agafem una roda de bicicleta i la fem girar cap a l'esquerra i intentem moure l'eix de la roda cap a un costat, a la part superior de l'eix sorgirà una força que farà que la part superior s'allunyi de nosaltres (figura 1). En canvi, si la fem girar en la direcció oposada la força tendirà a anar cap a nosaltres. Aquesta propietat del giroscopi en moviment amb la incorporació d'una força de gir de 90° és la precessió.

¹³ Aquesta informació ha estat extreta dels llibres: *The management of Merchant Ship Stability, Trim & Strength* i *Stability, Trim and Strength for Merchant Ships and Fishing Vessels*.



Així, si situem a l'interior d'un buc un cilindre de massa apreciable girant a gran velocitat sobre el seu eix de simetria (el qual es disposa verticalment) i el fem precessionar lentament al voltant d'un eix horitzontal situat en la direcció babord/estribord, es produirà un moment en la direcció proa/popa tendent a escorar el vaixell a una o altra banda en funció del sentit que imposem la velocitat de precessió.



Per tant, governant el motor encarregat de fer precessionar al giroscopi amb un sistema de control adequat, és possible produir un moment adriasant de naturalesa periòdica, capaç d'oposar-se al moment escorant induït per les onades.

2.4.3. Característiques

Hi ha diferents models de giroscopis, tot i que el principi de funcionament és el mateix per a tots els models, es diferencien en la mida, les aplicacions, depenent del desplaçament del vaixell i en alguns casos de l'estructura externa.

Hi ha dos fabricants que són els més importants en quant a disseny i fabricació d'aquest sistema d'estabilització. Seakeeper¹⁴ és un d'ells i l'altre és Mitsubishi ARG¹⁵. Ara es mostraran les característiques de cada model i després es farà una comparació entre els models dels dos fabricants.

Les característiques són [20 i 25]:

1) Moment angular (NMS): Aquesta és la potència nominal d'un giroscopi. Cada vaixell requereix la quantitat apropiada de moment angular per aconseguir un excel·lent rendiment antibalanceig. Per a una comparació adequada del giroscopi en un vaixell determinat, el moment angular total ha de ser gairebé igual.

2) Velocitat del volant d'inèrcia (rpm): Un volant més ràpid és la millor manera d'augmentar el moment angular sense afegir pes al volant ni augmentar el seu diàmetre.

3) Pes (kg): Reduir al mínim el pes instal·lat a bord millora el rendiment de la velocitat i l'eficiència del combustible del vaixell en totes les velocitats.

4) Longitud/Amplitud/Altura (mm): La reducció general de l'espai ofereix més opcions d'instal·lació, millora de l'accés al sistema i un disseny més flexible de

¹⁴ Seakeeper: És una empresa que es dedica a la producció i fabricació de sistemes estabilitzadors, més concretament de giroscopis estabilitzadors per a embarcacions d'esbarjo, iots, vaixells comercials i de la marina mercant. En aquesta web es poden veure tots els seus productes (www.seakeeper.com)

¹⁵ Mitsubishi ARG: És una empresa que es dedica a la producció i fabricació de sistemes estabilitzadors, en concret de giroscopis estabilitzadors. Les seves aplicacions van des d'embarcacions d'esbarjo fins a vaixells de la marina mercant. En aquesta web es poden veure tots els seus productes (www.antirollinggyro.com)

l'interior. Les localitzacions inclouen la sala de màquines, els panyols, les cabines de la tripulació, la sentina, els armaris, els espais sota els llits, etc.

5) Spool-up time (min): El temps que triga el giroscopi per assolir la velocitat màxima d'operació donant com a resultat el major rendiment de l'estabilitat.

6) Spool-up power/Operating power (kW): És l'energia total per fer que el volant d'inèrcia giri fins al 100% del rati de velocitat. L'energia d'operació és el consum d'energia en estat estacionari quan s'està operant durant la navegació.

7) Control de la precessió (passiu, actiu): Un control actiu optimitza la utilització del moment angular amb la configuració constant de la taxa de precessió del giroscopi en base a diferents condicions del mar. El control actiu es pot utilitzar durant la navegació. Els giroscopis passius s'han d'optimitzar per a cada estat de la mar i són menys eficients en mal estat de la mar o en repòs. Aquests giroscopis s'han d'apagar quan hi ha mala mar o el vaixell està en repòs.

8) Refrigeració (aire/aigua): Els giroscopis refrigerats per aire produeixen molta calor que s'ha d'eliminar mitjançant una ventilació, mentre que els giroscopis refrigerats per aigua es poden instal·lar pràcticament a qualsevol espai.

9) Volant d'inèrcia i coixinets (obert/buit): Els components crítics del giroscopis a l'aire lliure estan exposats a dures condicions marines, mentre que els giroscopis segellats al buit estan protegits al 100%. A més a més, sense la fricció de l'aire el volant d'inèrcia pot girar a velocitats més altes amb una consumició d'energia menor.

A continuació es mostraran els models dels dos fabricants i les característiques més concretament de cadascun. Primer es parlarà dels models de Seakeeper.

SEAKEEPER

MODELS	M7000	M7000A	M8000	M21000	M21000A
Moment angular (NMS)	7000	7000	8000	21000	21000
Velocitat del volant d'inèrcia (rpm)	10000	9700	8000	4000	4000

Pes (kg)	455	455	525	1320	1338
Longitud	797	780	922	1280	1280
Amplitud	982	980	997	1420	1420
Altura (mm)	671	680	705	940	940
Spool-up time (min)	45	40	35	45	45
Spool-up power	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Operating power (kW)	1.5-2.0	1.5-2.0	1.5-2.0	1.0-3.0	1.0-3.0
Control precessió (passiu/actiu)	actiu	actiu	actiu	actiu	actiu
Refrigeració (aire/aigua)	aigua	aigua	aigua	aigua	aigua
Volant d'inèrcia i coixinets (obert/buit)	buit	buit	buit	buit	buit

Taula 3.1: Taula amb els models de Seakeeper i les característiques de cadascun d'ells.

Font: Seakeeper i elaboració pròpia.

MITSUBISHI ARG

MODELS	ARG125	ARG250	ARG375
Moment angular (NMS)	2500	5000	7500
Velocitat del volant d'inèrcia (rpm)	4400	3750	3250
Pes (kg)	300	700	910
Longitud	570	720	830
Amplitud	930	1000	1120
Altura (mm)	590	700	780
Spool-up time (min)	30	40	45

Spool-up power Operating power (kW)	3.8 3.4	4.8 3.5	5.5 4.5
Control precessió (passiu/actiu)	Passiu	Passiu	Passiu
Refrigeració (aire/aigua)	Aire	Aire	Aire
Volant d'inèrcia i coixinets (obert/buit)	Obert	Obert	Obert

Taula 3.2: Taula amb els models de Mitsubishi ARG i les característiques de cadascun d'ells.

Font: Seakeeper, Mitsubishi ARG i elaboració pròpia.

Cada fabricant té els seus productes, però en general són gairebé semblants i tenen les mateixes aplicacions. Quan es tracta d'instal·lar un sistema estabilitzador, s'han de tenir en compte diferents aspectes i veure quin és el producte que més convé per a la nostra embarcació.

2.4.4. Aplicacions i beneficis

Aquest sistema estabilitzador es pot utilitzar en diferents tipus de vaixells i cadascun d'ells presenta avantatges diferents.

A continuació es descriu la tipologia de vaixells on s'utilitzen aquests models de giroscopis estabilitzadors [25].

IOTS DE LUXE

En els iots de luxe es busca el màxim confort, seguretat i les màximes prestacions possibles en un entorn agradable. Gràcies al giroscopi estabilitzador es poden aconseguir els següents beneficis:

- 1) Seguretat per als passatgers i per a la tripulació.
- 2) Evitar el balanceig ocasionat per l'estela d'altres vaixells que passen pel costat, ja sigui navegant o fondejant.
- 3) Evitar cops amb altres vaixells o amb el moll quan el vaixell està al port.

En aquest sistema la unitat està instal·lada a l'interior del buc, per tant, no hi haurà problemes de que es pugui fer malbé amb algun cop amb el fons marí. És una forma senzilla, eficaç i segura de control de l'estabilitat. Té una resposta ràpida a l'hora de detectar el balanceig del vaixell i reduir-lo.



Figura 3.41: (a) És un Azimut 70 que porta instal·lat un sistema de giroscopi estabilitzador, (b) giroscopi estabilitzador en procés d'instal·lació al vaixell.

Font: Ambdues fotografies estan extretes de la Web de Seakeeper (www.seakeeper.com).

Aquests sistemes s'instal·len en una gran quantitat de iots com ara:

AZIMUT
YACHTS

FERRETTI
YACHTS

Sunseeker

PRINCESS

VAIXELLS D'ESBARJO

Els vaixells pesquers que treballen tant en alta mar com a prop de la costa el que necessiten és el millor en tecnologia d'estabilització, degut a que passen la major part del temps aturats pescant, és a dir, en velocitat zero. Però també es busca que el

vaixell sigui estable en navegació, per tant, és important que el vaixell porti un bon sistema d'estabilització. Amb aquest sistema de giroscopi podem trobar els següents beneficis:

- 1) Millora de l'eficiència i en el consum de combustible.
- 2) Seguretat per a la tripulació i per als passatgers.
- 3) Menys manteniment, degut a que és una unitat reduïda.
- 4) No hi ha apèndix externs, per tant, no hi ha problemes de que es faci malbé la unitat, això és degut a que la unitat s'instal·la dintre del vaixell.
- 5) Navegació sense balanceig tant navegant com durant la pesca.



Aquest sistema ja s'instal·la en una gran quantitat de models com ara:



VAIXELLS D'EXPLORACIÓ

Aquests vaixells acostumen a ser grans vaixells amb un flybridge alt, s'utilitzen per a fer exploracions submarines i han de portar molt material. Per tant, són vaixells que es passen la major part del temps aturats, fondejats o navegant a baixa velocitat.

Aquests vaixells necessiten ser estables per no fer malbé els instruments de mesura i d'investigació que utilitzen els professionals per fer les exploracions. Amb aquest sistema de giroscopi podem trobar els següents beneficis:

- 1) Estabilització completa tant en velocitat zero com navegant a baixes velocitats.
- 2) Seguretat tant per als passatgers com per a la tripulació.
- 3) No hi ha una pèrdua de velocitat visible.
- 4) No hi ha parts del sistema que sobresurtin del buc, per tant, no hi ha perill de fer malbé el sistema i hi ha menys desgast del buc, això permet un baix manteniment.
- 5) Millora de l'eficiència i reducció del consum de combustible.

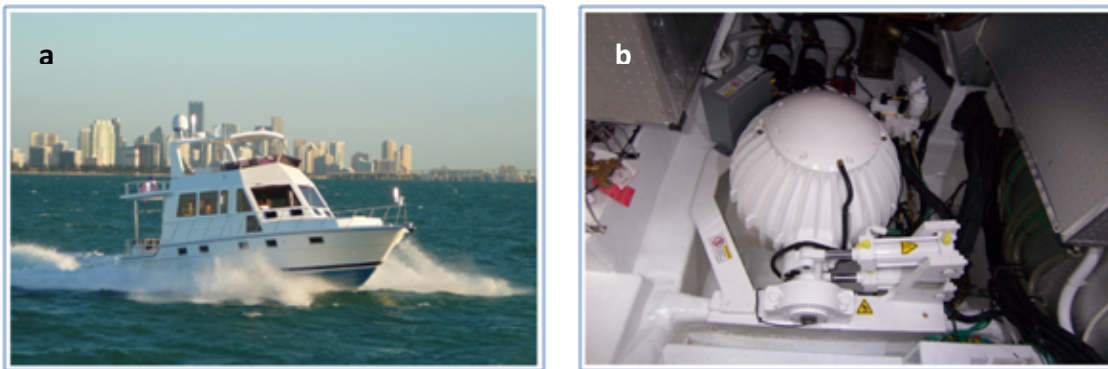


Figura 3.43: (a) És un Island Pilot 535, el primer vaixell d'exploració en instal·lar un giroscopi estabilitzador, (b) fotografia d'una unitat de giroscopi estabilitzador.

Font: Ambdues fotografies estan extretes de la web de Seakeeper (www.seakeeper.com).

Aquest tipus de sistema estabilitzador ja s'instal·la en una gran quantitat de models com ara:



VAIXELLS COMERCIALS

Un dels majors reptes de les empreses és la utilització de vaixells comercials quan hi ha temporal i quan hi ha mar grossa, que impedeixen la plena utilització dels actius comercials. Aquests vaixells necessiten una gran estabilitat degut a la importància del seu servei com a vaixell. Amb aquest sistema de giroscopi podem trobar els següents beneficis:

- 1) Minimitzar el temps d'inactivitat de la tripulació i del vaixell.
- 2) Seguretat per a la tripulació.
- 3) Minimitzar el consum de combustible.
- 4) Mínim manteniment.
- 5) No hi ha parts del sistema que sobresurtin del buc, per tant, no hi ha perill de fer malbé el sistema i hi ha menys desgast del buc, això permet un baix manteniment.

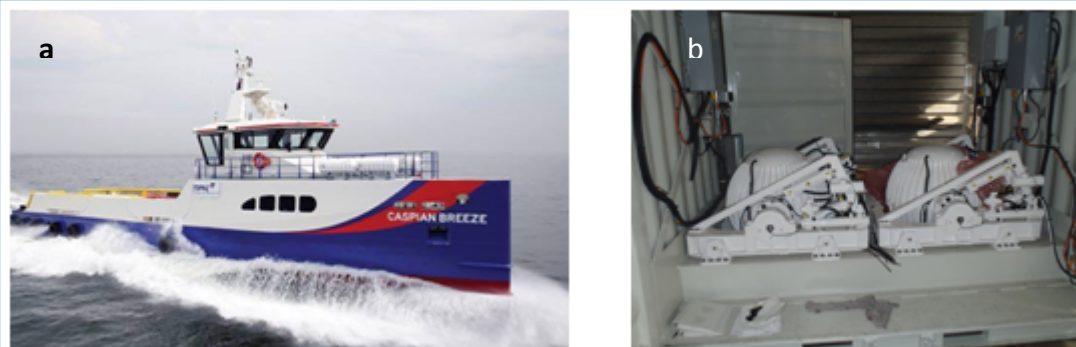


Figura 3.44: (a) És un vaixell que transporta equip ràpidament, vaixells com aquest porten instal·lats giroscopis, (b) fotografia de dos giroscopis estabilitzadors, que possiblement s'instal·lin en un vaixell comercial.

Font: Ambdues fotografies estan extretes de la web de Seakeeper (www.seakeeper.com).

Un dels models en el que s'instal·la aquest sistema de giroscopi és:



VAIXELLS MILITARS

El major repte dels vaixells militars i de la seva tripulació és dur a terme les seves missions tant amb bona mar com amb mala mar, per tant els vaixells han de ser estables i mantenir el nivell de balanceig per sota de certs valors.

Amb aquest sistema de giroscopi podem trobar els següents beneficis:

- 1) No hi ha pèrdua de rendiment.
- 2) Seguretat per a la tripulació i per a l'equip de bord.
- 3) Augment de l'eficiència del combustible.
- 4) Manteniment mínim.
- 5) No hi ha protuberàncies externes que es puguin fer malbé.
- 6) La unitat està instal·lada a l'interior del buc, degut a això es minimitza el soroll extern.
- 7) Té un disseny petit i compacte.
- 8) Es redueix el balanceig tant en velocitat zero com durant la navegació.

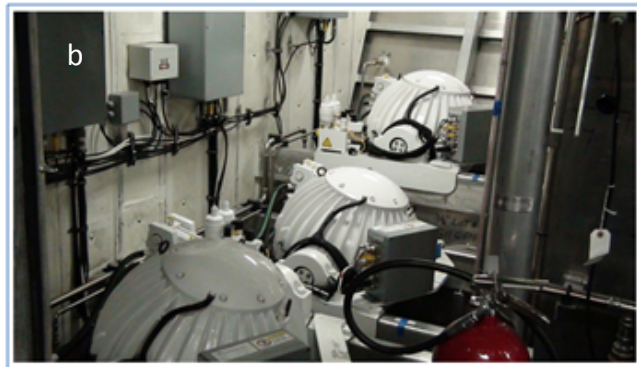


Figura 3.45: (a) És un Torpedo Weapons Retriever que incorpora un sistema de giroscopi amb el model M21000, (b) sistema de giroscopis estabilitzadors que incorpora 3 unitats (aquesta fotografia no correspon al vaixell de l'esquerra).

Font: Ambdues fotografies estan extretes de la web de Seakeeper (www.seakeeper.com).

Igual que els giroscopis s'utilitzen per posicionar les naus espacials, als vaixells militars un volant d'inèrcia gira a alta velocitat per eliminar la fricció de l'aire i reduir el consum d'energia i el pes. Gràcies a que aquest sistema és efectiu en una gran àrea d'estats de la mar, això permet eliminar la fatiga, una expansió dels sistemes operatius i la facilitació de la càrrega i descàrrega d'armament i també la utilització d'equips

d'alta tecnologia.

Un dels fabricants més importants és SEAKEEPER i ja s'instal·la a l'armada americana:



2.4.5. Conclusions del sistema

A continuació es mencionaran les conclusions més significatives que s'han extret d'aquest sistema estabilitzador.

- 1) És un **sistema actiu**, per tant, quan detecta el moviment de balanceig decideix la magnitud del moment de correcció necessària. És un **sistema intern**, per tant, no té apèndix ni protuberàncies que sobresurtin del buc i així no hi ha problema de que es facin malbé.
- 2) Actualment es **comença a utilitzar** tant en la nàutica d'esbarjo com en vaixells comercials, però encara té un **elevat cost**.
- 3) Es basa en la **precessió estacionària**.
- 4) Hi ha diferents fabricants, però els models tenen la mateixa funció i es diferencien en petits detalls. Algunes de les **característiques** més importants a tenir en compte són:
 - a. Moment angular.
 - b. Velocitat del volant d'inèrcia.
 - c. Pes.
 - d. Dimensions (longitud, amplitud, altura)
 - e. Spool-up time.
 - f. Spool-up power, operating power.
 - g. Control de precessió.
 - h. Refrigeració.
- 5) Les **aplicacions** més importants són:
 - a. Iots de luxe.
 - b. Vaixells d'esbarjo.

- c. Vaixells d'exploració.
 - d. Vaixells comercials.
 - e. Vaixells militars.
- 6) Per a cada aplicació hi ha uns beneficis específics, però es poden treure alguns **avantatges principals** d'aquest sistema:
- a. És un sistema compacte, per tant, el manteniment serà mínim.
 - b. El sistema evita el balanceig dels vaixells tant en repòs com durant la navegació en diferents estats de la mar.
 - c. Té una resposta al balanceig més ràpida que altres sistemes estabilitzadors.
 - d. Millora l'eficiència i el consum de combustible.

3. Combinació de sistemes estabilitzadors

Els vaixells de passatge i creuers, en moltes ocasions porten equipats una combinació dels sistemes estabilitzadors, per exemple, la combinació d'aletes estabilitzadores i tancs estabilitzadors passius, aconseguint els avantatges d'ambdós sistemes.

Generalment, les aletes estabilitzadores necessiten una velocitat mínima de 6 o 7 nusos per a ser efectives, perden la seva efectivitat quan el buc navega a poca velocitat o està parat; els sistemes de tancs passius redueixen en un 40% el balanceig a qualsevol velocitat, inclús amb el buc aturat.

D'aquesta forma s'aconsegueix una reducció del balanceig a qualsevol velocitat i una reducció de la resistència l'avançament al utilitzar aletes més petites [7].

CAPÍTOL 4: Altres sistemes estabilitzadors

1. Estabilitzador Voith-Schneider

1.1. Descripció general



La utilització del concepte de Voith-Schneider per a estabilització transversal de vaixells és relativament recent.

En essència, un propulsor Voith-Schneider és un conjunt de superfícies de sustentació (pales) col·locades en forma de “gàbia per esquirols”, que gira sobre el seu propi eix, fent possible la generació d’un impuls net en qualsevol direcció perpendicular a l’eix de gir mitjançant un mecanisme que permet la orientació instantània de cada pala en la forma adequada.

Aquest sistema permet canviar la direcció de l’impuls molt ràpidament, pel que governat amb un sistema de control

automàtic, pot produir una variació transversal d’empenta de naturalesa periòdica, capaç d’equilibrar els parells escorants induïts per les onades.

Encara que exigeix un equipament complex i un cost d’adquisició elevat, aquest sistema d’estabilització reuneix totes les avantatges de les aletes de sustentació dinàmica i dels tancs passius sense cap dels seus inconvenients, oferint a més la possibilitat d’unificar un sol equip per a tres funcions diferents [30 i 36]:

- Propulsió
- Govern
- Estabilització transversal

1.2. Avantatges

Els principals avantatges d'aquest sistema són [30 i 36]:

- 1) Es pot generar molt impuls en qualsevol direcció degut a l'angle de fase que varia entre 0° i 360° .
- 2) És un sistema que proporciona molta seguretat a l'hora de fer serveis d'ajuda, com ara en vaixells remolcadors i vaixells auxiliars, degut a la seva maniobrabilitat.
- 3) És un sistema molt fiable i resistent, en els casos d'utilització per a vaixells de guerra es fabrica d'un material molt resistent als impactes.
- 4) És un sistema que no produeix moltes vibracions i no supera els estàndards de volum.
- 5) No requereix gaire manteniment degut a la seva estructura robusta.
- 6) Aquest sistema té un control molt precís i ràpid i sol tenir una vida útil molt llarga.

1.3. Aplicacions

Aquest sistema estabilitzador es pot utilitzar en una gran quantitat de vaixells, com ara:

- Remolcadors.
- Ferries.
- Vaixells auxiliars.
- Vaixells de guerra.
- Vaixells especials (grues flotants, vaixells de passatgers entre d'altres).
- Mega iots.

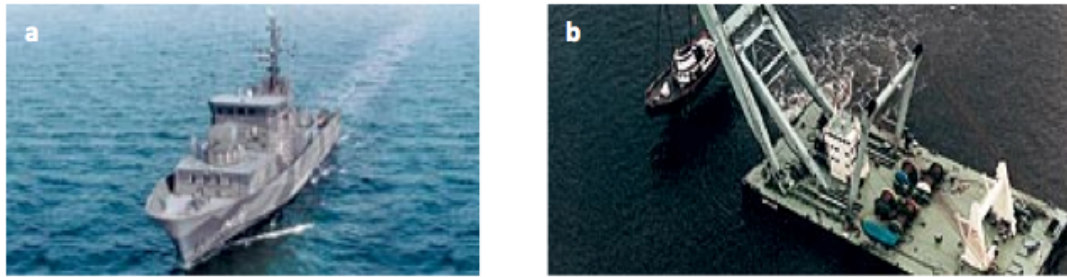


Figura 4.2: (a) Vaixell de guerra que porta un Voith-Schneider, (b) Vaixell grua que porta un sistema estabilitzador Voith-schneider.

Font: Fotografies extretes de la web de Voith (www.voithturbo.com).

2. Estabilització mitjançant el timó

2.1. Descripció general

La utilització del timó com a sistema estabilitzador és factible, econòmica i essencialment lliure de riscos tecnològics.

Aquest sistema utilitza el timó existent per a controlar el balanceig en lloc d'afegir un altre sistema estabilitzador. La utilització del timó com a estabilitzador no és possible a tots els vaixells degut a la seva localització, a la seva mida i als requisits que ha de tenir el timó. El sentit pràctic de l'estabilització mitjançant el timó és que els timons es poden utilitzar per a reduir el balanceig sense afectar la funció principal del timó.

La majoria dels períodes de balanceig estan en un rang de 8 a 12 segons i la resposta de gir del vaixell d'uns 30 a 35 segons, que normalment no suposa cap problema. És possible moure el timó al període de balanceig per tal de reduir-lo sense desviar el timó el temps suficient per a crear un angle de gir del vaixell, és a dir, l'angle del timó varia lentament per a reduir el balanceig i ràpidament per no canviar l'angle de gir.

Per tal de que el timó sigui útil com a estabilitzador, el timó ha de ser capaç de generar un moviment de balanceig d'una fracció del moviment total de l'ona a la freqüència de balanceig. En altres paraules, el timó necessita ser capaç d'excitar grans

angles de balanceig. Això vol dir que el timó ha de ser relativament gran, amb un centre de pressió per sota del centre de balanceig, per a maximitzar el braç. El timó ha de tenir una gran rapidesa d'actuació per donar temps a posicionar-se. Per tant, per a fer que l'estabilització mitjançant el timó sigui útil el timó haurà de ser gran, haurà d'estar situat a la zona més baixa possible del vaixell i haurà de ser d'actuació ràpida.

A part de la capacitat de reduir el moviment de balanceig, hi ha altres paràmetres que tenen relació amb el manteniment i el control de timó que són importants. La utilització del timó com a sistema d'estabilització no té perquè incrementar el desgast del sistema ni reduir la seva fiabilitat. Hi ha alguns dissenyadors que assegurin que el timó és capaç de reduir el balanceig perquè no genera un gran moment com les aletes. El principal problema és la taxa de saturació i la incapacitat del timó de seguir la senyal de control. El controlador del timó ha de limitar els moviments màxims del timó per tal de reduir al màxim el retard.

2.2. Avantatges i inconvenients

Els principals avantatges d'aquest sistema són:

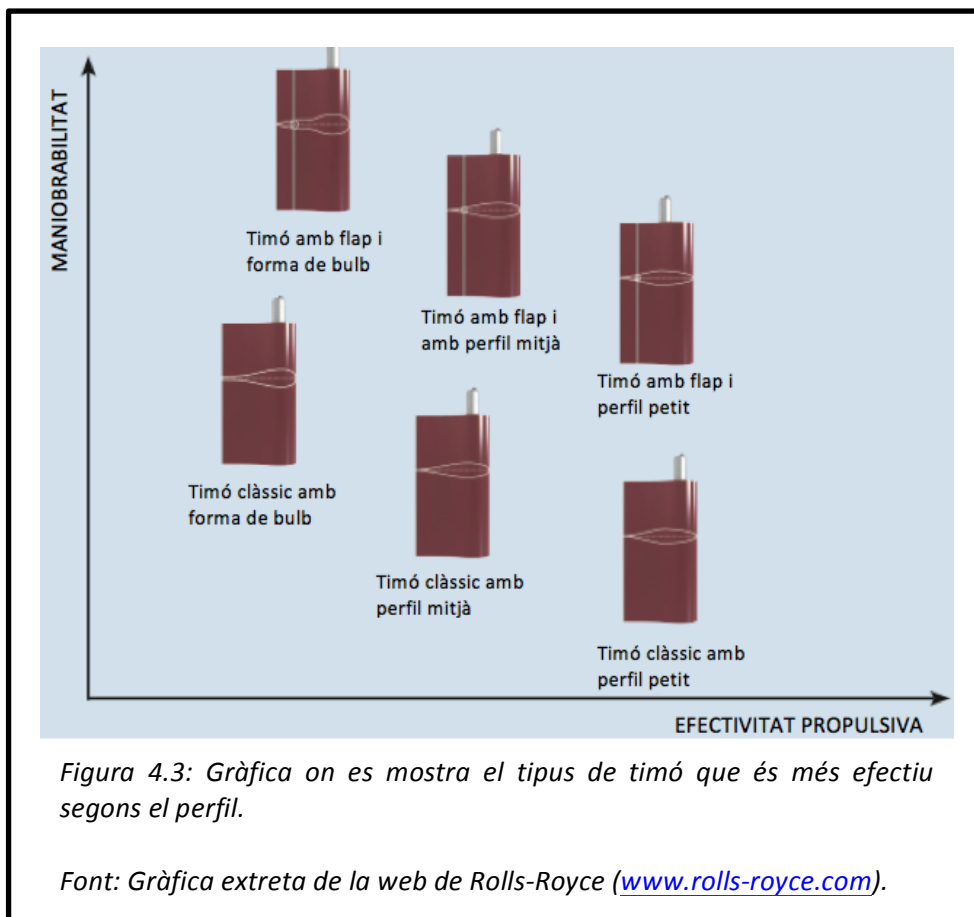
- 1) En aquest sistema no s'han d'afegir gaires elements més només el sistema de control per a l'estabilització.
- 2) Quan s'ha de fer manteniment o s'ha de restaurar el vaixell, molts dels elements del sistema es poden reutilitzar, això fa que no hi hagi grans costos de manteniment.
- 3) Aquest sistema fa que els espais que s'utilitzarien per a situar el sistema d'estabilització necessari es pugui fer servir per un altre propòsit.
- 4) El fet de no tenir moltes parts no genera gaire pes que sigui un excés per al vaixell.
- 5) Aquest sistema no genera un augment de la resistència hidrodinàmica.
- 6) Té un bon rendiment per a gairebé tots els estats de la mar.

Un dels principals problemes d'utilitzar el timó com a sistema d'estabilització és que el timó es veu impedit pel control manual. Això no és un problema important, perquè es pot utilitzar un controlador automàtic sota condicions normals d'operació.

En algunes circumstàncies el controlador automàtic s'ha de desactivar perquè no hi hagi un augment del balanceig. Hi ha situacions en les que el una resposta errònia del controlador, fa que no funcioni correctament. L'estabilització mitjançant el timó perd efectivitat quan la freqüència tendeix a zero, perquè no hi ha moviment del fluid al voltant del timó [38].

2.3. Tipus de timons

Els timons poden tenir diferents formes, diferents mides, diferents àrees. A continuació es mostraran els tipus de timons que són més eficaços en quant a maniobrabilitat i en quant a efectivitat propulsiva, segons la seva forma externa [24].



CAPÍTOL 5: Impacte mediambiental dels sistemes estabilitzadors

Avui en dia la preocupació pel medi ambient és un factor molt important en la fabricació, producció, elaboració i elecció de qualsevol element fet per l'ésser humà.

Degut a diferents accidents marítims que s'han produït al llarg dels anys han anat sorgint una sèrie de normatives i reglaments per a prevenir la contaminació produïda pels vaixells. Aquestes normatives estan recopilades al MARPOL.

El Conveni MARPOL¹⁶ (*The International Convention for the Prevention of Pollution from Ships*) és el principal conveni internacional que cobreix la prevenció de la contaminació del medi marí degut a causes operatives o accidentals dels vaixells. És una combinació de dos tractats adoptats als anys 1973 i 1978, respectivament, i també inclou el Protocol de 1997 (Annex VI). Al llarg dels anys ha anat patint modificacions.

El conveni inclou regulacions destinades a prevenir i reduir al mínim la contaminació dels vaixells, tant la contaminació accidental com la generada per les operacions rutinàries i actualment inclou sis annexos tècnics. La majoria dels annexos inclouen controls estrictes sobre les descàrregues.



Figura 5.1: Portada del llibre de Reglaments del MARPOL.

Font: Fotografia extreta de google images

Seguidament es nombraran els annexos:

- 1) Annex I: Regulacions per la prevenció de la contaminació produïda pels Hidrocarburs.

¹⁶ Tota la informació relacionada amb el conveni MARPOL està extreta de la web de la OMI (Organització Marítima Internacional) (www.imo.org).

- 2) Annex II: Regulacions per la prevenció de la contaminació produïda per Substàncies Líquides Transportades a Granel.
- 3) Annex III: Regulacions per la prevenció de la contaminació per Substàncies Perjudicials Transportades per Mar en Contenidors. (Encara que aquest annex es opcional perquè el transport de mercaderies perilloses ja està regulat pel Codi Marítim Internacional de Mercaderies Perilloses).
- 4) Annex IV: Regulacions per la prevenció de la contaminació per Aigües Brutes dels Vaixells.
- 5) Annex V: Regulacions per la prevenció de la contaminació per la Brossa dels Vaixells.
- 6) Annex VI: Regulacions per la prevenció de la Contaminació Atmosfèrica ocasionada pels Vaixells.

Els sistemes estabilitzadors no són dels sistemes del vaixell que més contaminen el medi ambient.

La majoria de sistemes són sistemes interns, per tant, l'únic que pot perjudicar al medi marí és l'aigua dels tancs, ja siguin actius o passius.

L'aigua que pugui sortir dels tancs és aigua de mar. Amb aquesta aigua que surt dels tancs, és a dir, que es llença al mar, però que és aigua de mar o aigua dolça, s'ha de tenir en compte de llençar-la en la mateixa zona geogràfica en la que s'ha introduït al tanc, perquè si es llença en una altra zona es poden portar espècies d'animals d'un costat del món a l'altre i es treuen del seu hàbitat natural. Aquestes espècies normalment solen ser peixos molt petits o espècies microscòpiques o ous d'algun peix.

Si el fluid que s'utilitza als tancs és un hidrocarbur, no es podrà llençar al mar, s'haurà de seguir les normatives del MARPOL de l'Annex I.

En quant als sistemes estabilitzadors externs, tenim les aletes estabilitzadores. Aquest sistema pot causar danys en algunes espècies de coralls i d'animals si el vaixell es queda varat en una zona protegida pels animals i les espècies marines.

Un altre punt important seria la lubricació de l'eix que surt de les aletes. Aquest líquid lubricant seria millor que fos el menys perjudicial tant per als animals com per a les plantes marines.

Per finalitzar es pot concloure que en general els sistemes estabilitzadors, ja siguin interns o externs, actius o passius, són dels sistemes que menys contaminen i que és un punt a favor d'aquests sistemes.

Conclusions

Abans de comentar les conclusions farem un resum de les conclusions generals extretes de cadascun dels sistemes esmentats amb anterioritat, per tenir una visió global de l'estudi realitzat.

Els sistemes estabilitzadors són, per tant, sistemes que s'utilitzen per a reduir el moviment de balanceig del vaixell. El moviment de balanceig del vaixell és el moviment que fa que el vaixell es mogui de babord a estribord o viceversa sobre l'eix longitudinal del vaixell.

Podem dir que hi ha dos tipus de sistemes, els sistemes actius i els sistemes passius. Els sistemes actius són aquells que necessiten d'un sistema auxiliar per a detectar el balanceig i poder actuar per a reduir el moviment de balanceig, en canvi els sistemes passius són aquells que no necessiten de cap sistema per detectar el balanceig, el sistema estabilitzador detecta el moviment i actua per reduir-lo.

Dintre d'aquesta classificació podem dividir els sistemes en dos grups: sistemes interns i sistemes externs. Els sistemes interns són aquells en els que el sistema estabilitzador està situat dintre del buc. En canvi, els sistemes externs són aquells en els que el sistema estabilitzador està situat fora del buc.

Dintre dels sistemes passius hi ha: les quilles de balanç i els tancs passius d'estabilització. Dintre dels sistemes actius hi ha: Les aletes estabilitzadores, els tancs actius i el giroscopi estabilitzador. Hi ha altres sistemes, com ara l'estabilitzador Voith-Schneider, que també es pot utilitzar com a sistema propulsor i com a sistema de govern, per això no s'inclou en la classificació anterior. Un altre sistema és l'estabilització mitjançant el timó, però tampoc se sol utilitzar gaire perquè dóna alguns problemes i no surt rentable.

Si parlem dels sistemes passius podem dir que les quilles de balanç són el sistema més comú i senzill en quant a sistema estabilitzador, però no són gaire efectives en l'estabilització del vaixell, només redueixen un 35% del balanceig. Per això se solen combinar amb un altre sistema estabilitzador, com per exemple, les aletes

estabilitzadores. En canvi, els tancs passius, que són un sistema intern redueixen entre un 50-60% el balanceig, a més són de fàcil instal·lació i no requereixen grans costos de manteniment. Les quilles tenen un inconvenient, i és que són més efectives a mesura que augmenta la velocitat, en canvi, els tancs passius són efectius a qualsevol velocitat, però poden ser perillosos amb un estat de molt mala mar. Tots dos sistemes acostumen a utilitzar-se en vaixells de gran eslora.

Si parlem dels sistemes actius podem dir que les aletes són el sistema més utilitzat i són un sistema extern. Les aletes són molt efectives, ja que redueixen el balanceig en un 80-90%. Per altra banda tenim el giroscopi, que és una part fonamental per al funcionament de les aletes, degut que és el sistema que utilitzen les aletes per detectar el balanceig i després reduir-lo. Però el giroscopi també és un bon sistema estabilitzador, abans no era tant utilitzat com està començant a ser avui en dia. El giroscopi és un sistema intern i l'inconvenient que té és que afegeix molt pes al vaixell, però en canvi, té l'avantatge que és un sistema molt compacte i ocupa poc espai. Tots dos sistemes es poden utilitzar tant en navegació com en repòs i en un gran rang d'eslores, des de petites fins a vaixells mercants.

Dintre dels sistemes actius també tenim els tancs actius, que són molt semblants als tancs passius però es diferencien en que els tancs actius tenen uns sensors i un sistema per fer que l'aigua del tanc passi d'un costat a un altre. A més hi ha els tancs anomenats Tancs antiescora interring que són els que s'utilitzen durant les operacions de càrrega i descàrrega per a vaixells de gran eslora.

Tots els sistemes estabilitzadors no tenen un gran impacte mediambiental, per tant, aquest no és un tema molt preocupant.

Per concloure podem dir, que els sistemes més utilitzats en petites i mitjanes embarcacions són les aletes i el giroscopi estabilitzador, encara que també es puguin utilitzar en grans vaixells. Aquests sistemes també són eficaços, perquè redueixen molt bé el moviment de balanceig i són compactes i no ocupen molt espai. Com em vist funcionen correctament durant la navegació i en repòs.

Per a grans eslores els sistemes més utilitzats són les quilles de balanç, els tancs passius i els tancs actius. Els dos últims s'utilitzen quan el vaixell està aturat o en navegació. Aquests sistemes són mitjanament efectius i no requereixen grans costos de manteniment.

Per finalitzar, els sistemes estabilitzadors són sistemes que fan que la navegació sigui més fàcil i confortable, tant per a la tripulació com per a passatgers i per a la càrrega que es transporti. Aquests sistemes s'han utilitzat durant molts anys i es continuaran utilitzant en un futur.

Referències bibliogràfiques

LLIBRES DE TEXT

- [1] I.C. Clark, BSc, MSc, Master Mariner. A ship motion in a seaway and anti-roll measures. I.C. Clark, BSc, MSc, Master Mariner. *The Management of Merchant Ship Stability, Trim and Strength*. London, England: The Nautical Institute, O'sullivan Printing Corporation, 2002, p. 146-174.
- [2] I.C. Clark, BSc, MSc, Master Mariner, MNI. A ship's motion at sea. I.C. Clark, BSc, MSc, Master Mariner, MNI. *Stability, Trim and Strength for Merchant Ships and Fishing Vessels*. London, England: The Nautical Institute, O'sullivan Printing Corporation, 2008, p. 183-220.
- [3] Capt. Simon Kembery, BSc.(Hons). FNI. Wind heeling, ice accretion and Rolling. Methods adopted to minimise a ship's Rolling motion at sea. Capt. Simon Kembery, BSc.(Hons). FNI. *Ship stability: Mates/Masters*. Lanarkshire, United Kingdom: Seamanship International Ltd, 2003, p. 314-316.
- [4] Pérez, T. Ship roll stabilisation. Pérez, T. *Ship motion control: Course keeping and roll stabilisation using rudder and fins*. London: Springer-Verlag London Limited, 2005, p. 116-126.
- [5] Biles, J.H. Chapter XXXII: Method of reducing Rolling by bilge keels. Biles, J.H. *The design and construction of ships. Volume II: Stability, Resistance, Propulsion and Oscillations of ships*. London: Salvasser verlag, 1908, volume II, p. 412-416.
- [6] Lewis, E.V. Section 6: Control of Ship Motions. Lewis, E.V. *Principles of Naval Architecture*. Second Revision. Jersey city: NJ The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1988, volum III, p. 126-136.

- [7] LLOYD, A.R.J.M. Chapter 18: Roll stabilisation. LLOYD, A.R.J.M. *SEAKEEPING: Ship Behaviour in Rough Weather*. Chichester, West Sussex, England E. Horwood, 1989, p. 343-397.
- [8] RAOUF, A. IBRAHIM. *Liquid Sloshing Dynamics. Theory and Applications*. United Kingdom: Cambridge University Press, 2005.

ALTRES PROJECTES

- [9] Chinchilla Ginesta, B. *Sistemas estabilizadores de buques: criterios de selección*. Projecte final de carrera, UPC, 2001 [Biblioteca de la Facultat de Nàutica de Barcelona].
- [10] Berenguel Cortina, R. *Estudio del sistema estabilizador y antiescora del buque "Don Pedro"*. Treball final de carrera, UPC 2001 [Biblioteca de la Facultat de Nàutica de Barcelona].
- [11] De Felipe Blanch, J. *Proyecto matemático de un estabilizador de aletas*. Projecte final de carrera, UPC, 1991 [Biblioteca de la Facultat de Nàutica de Barcelona].

WEBS D'INTERÈS

- [12] ABT·TRAC (www.thrusters.com): És una empresa que es dedica al disseny, producció i venda de sistemes estabilitzadors, d'hèlix i altres elements nàutics.
- [13] Así Funciona (www.asifunciona.com): És una web on s'expliquen coses relacionades amb com funcionen els mecanismes, aparells, vehicles i altres objectes.
- [14] Blog Alquimia y Ciencias (alquimiayciencias.blogspot.com): És un blog on algú publica articles que són importants per ell, alguns d'aquests contenen imatges interessants.

- [15] Blohm+Voss Industries (www.bv-industries.com): És una empresa que es dedica a tot el relacionat amb el sector marítim, des del disseny de iots de luxe de més de 80 metres d'eslora fins al disseny de sistemes estabilitzadors.
- [16] Bray Yacht Design and Research (www.brayyachtdesign.bc.ca): És una web d'una empresa que es dedica al disseny d'embarcacions, entre altres projectes i també publiquen articles sobre nàutica.
- [17] Canal de ensayos hidrodinámicos de Madrid (canal.etsin.upm.es): És una web que pertany al Canal d'Assajos Hidrodinàmics de la UPM (Universitat Politècnica de Madrid) i es on es fan investigacions i tenen un canal de proves.
- [18] Google Images (www.google.es).
- [19] Mitsubishi Heavy Industries (www.mhi.co.jp): És una empresa que és dedica a la fabricació i producció de productes del sector marítim, espacial, terrestre, entre d'altres.
- [20] Misaki Engineering c.o (www.antirollinggyro.com): És la mateixa empresa que Mitsubishi Heavy Industries, en la que tenen una web on només ensenïen els seus estabilitzadors giroscòpics.
- [21] Monaco Yachting & Technologies (www.monacoyachting.com): És una empresa que es dedica al disseny de iots de luxe.
- [22] Nautic expo (www.nauticexpo.es): És una web on tenen diferents productes nàutics de diferents fabricants.
- [23] Oniescuelas (www.oniescuelas.edu.ar): Són les Olimpiadas Nacionales de Contenidos Educativos en Internet, a la creativitat de docents i alumnes, és un certamen de generació de continguts de parla hispana.
- [24] Rolls-Royce (www.rolls-royce.com): És una empresa que es dedica no només al sector marítim sinó que també es dedica al sector aeroespacial, al sector automobilístic i al sector nuclear, entre d'altres.
- [25] Seakeeper (www.seakeeper.com): És una de les empreses més importants que fabrica sistemes estabilitzadors de giroscopi.
- [26] Seaplace (www.seaplace.es): És una empresa que es dedica a fer projectes navals, tant d'embarcacions de petita eslora, com de gran eslora i projectes Offshore.

- [27] Seguridad aérea, Ministerio de Fomento (www.seguridadaerea.es/AESA): És una organització del govern que té a veure amb tot el relacionat amb l'aviació civil, comercial, tot el relacionat amb els avions.
- [28] Sperry Marine (www.sperrymarine.northropgrumman.com): és una empresa que té productes per als vaixells, com ara radars, giroscopis, entre d'altres productes.
- [29] Tecnavin (www.tecnavin.com): És la web d'una empresa que està dedicada a la construcció, reparació de vaixells i a altres projectes navals, també hi pengen articles tècnics i notícies.
- [30] Voith (www.voithturbo.com): És una empresa que té més de 80 anys i han creat els propulsor Voith-Schneider.
- [31] Wikipedia (es.wikipedia.org).
- [32] World Meteorological Organization (www.wmo.int): És un organisme especialitzat de les Nacions Unides. És el seu portaveu sobre l'estat i el comportament de l'atmosfera terrestre, la seva interacció amb els oceans, el clima que produeix i la distribució resultat dels recursos hídrics.

ARTICLES

- [33] Domínguez, J. *Estabilizadores de rolido: nuevas tendencias*. [pdf] Disponible a: www.tecnavin.com/articulos.
- [34] Calandra, O. *Buques extravagantes*. [pdf]
Disponible a : www.centronaval.org.ar.
- [35] Bray Yacht Design and Research. *The advantages of twin keels*. [pdf]
Disponible a: www.brayyachtdesign.bc.ca.
- [36] Manrique, J; Casas P.A. *Estabilización transversal en buques de guerra*. [pdf]
Disponible a: www.ingenierosnavales.com.
- [37] Mercader, A. *El método SPH en el estudio del fenómeno de sloshing*. [pdf]
Disponible a: www.ica.es.
- [38] Thomas, W.L; Smith, T.C. *A survey of ship motion reduction devices*. [pdf]
Disponible a: www.dtic.mil.

APUNTS DE LES ASSIGNATURES

- [39] Castells, M. *Apunts Dinàmica de Vehicles Marins*. Llicenciatura en Nàutica i Transport Marítim Q2.